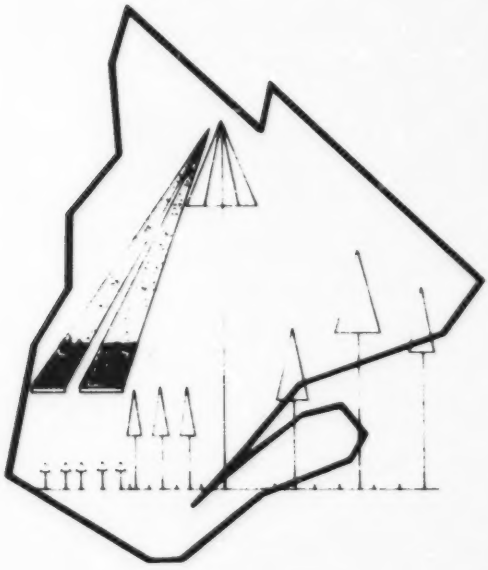
Résidus de 2,4-D et 2,4-DP en milieu aquatique lors d'entretien de plantation par voie aérienne (1981)

P. LÉVEILLÉ et L. LABERGE



Québec

RÉSIDUS DE 2,4-D ET 2,4-DP EN MILIEU AQUATIQUE LORS D'ENTRETIEN DE PLANTATION PAR VOIE AÉRIENNE (1981)

PAR: Pierre Léveillé, biologiste
Luc Laberge, biologiste

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC
MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES RESSOURCES
SERVICE PÉPINIÈRES ET REBOISEMENT

Québec, octobre 1983

AVANT-PROPOS

Les auteurs tiennent à remercier les personnes suivantes pour leur participation indispensable à la réalisation de ce travail.

Monsieur Guy Mamarbachi du Laboratoire de Québec, Environnement Québec, pour l'analyse chimique et ses précieux conseils.

Madame Gisèle Couture, spécialement pour les illustrations, technicienne en aménagement de la faune.

Monsieur Yves Laporte, technicien en aménagement de la faune.

Madame Céline Boilard, technicienne en aménagement de la faune.

Monsieur Richard Trudel, étudiant.

Monsieur Pierre Migneault, étudiant.

Madame Chantal Duval, étudiante.

Madame Claire Bernier, dactylographe.

RÉSUMÉ

Afin de comprendre et d'analyser le comportement des herbicides phénoxys, 2,4-D et 2,4-DP, dans l'environnement aquatique québécois, un échantillonnage intensif des résidus a été effectué en 1981.

Dans une mare sans écoulement qui a été directement traitée, les concentrations initiales des deux (2) produits étaient respectivement de 2,6 et 1,4 mg/l pour le 2,4-D et le 2,4-DP. Après 48 heures environ, la concentration des deux (2) produits est inférieure à 100 µg/l. Les produits persistent au moins 28 jours à des concentrations très faibles.

Un ruisseau directement contaminé, avait une concentration initiale de 126 µg/l qui diminua à 1 µg/l après 7 jours. Les ruisseaux non directement traités n'ont pas dépassé un maximum de 5 µg/l. Après 24 heures, les résidus sont aux environs de 1 µg/l et ne persistent que pendant 7 jours. L'étude du bassin de drainage a démontré que des résidus peuvent se retrouver jusqu'à 15 kilomètres en aval des projets. De fortes pluies ont joué un rôle important en ce qui concerne le cheminement et la persistance des résidus retrouvés.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
LISTE DES TABLEAUX	ii
LISTE DES FIGURES	iii
1. INTRODUCTION	1
2. PROGRAMME DE PULVÉRISATION	2
2.1 Superficies traitées	2
2.2 Produit utilisé	2
2.3 Période d'arrosage	2
2.4 Appareils utilisés	3
3. MÉTHODE EXPÉRIMENTALE	9
3.1 Mode d'échantillonnage	9
3.2 Matériel et technique d'échantillonnage	10
3.3 Localisation des stations	12
3.4 Description des stations d'échantillonnage	14
3.5 Méthode analytique et contrôles	20
4. RÉSULTATS	22
5. DISCUSSION	29
5.1 Influence de la charge de phytocide	30
5.1.1 Charge en milieu lentique	30
5.1.2 Charge en milieu lotique	32
5.1.3 Charge et mode de contamination	33
5.2 Temps de disparition	34
5.2.1 Persistance en milieu lentique	35
5.2.2 Persistance en milieu lotique	36
5.3 Influence des précipitations	38
5.3.1 Pluie en milieu lentique	39
5.3.2 Pluie en milieu lotique	40
6. CONCLUSION	46
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	48

LISTE DES TABLEAUX

Page

TABLEAU I - Séquence d'échantillonnage 11

TABLEAU II Résidus de 2,4-DP et de 2,4-D en milieu lentique: Mare Ashburton 23

TABLEAU III - Résidus de 2,4-DP et de 2,4-D en milieu lotique (µg/l). . . 25

TABLEAU IV - Charge de phytocide en fonction de la superficie traitée et de la dose appliquée 31

TABLEAU V - Paramètres du modèle mathématique 34

TABLEAU VI Synthèse du comportement et de la persistance des produits en milieu aquatique 47

LISTE DES FIGURES

		Page
FIGURE 1 -	Localisation des projets	4
FIGURE 2 -	Localisation du projet Ashburton	5
FIGURE 3 -	Projet Ashburton: Localisation et séquence des traitements	6
FIGURE 4 -	Localisation du projet Bourdages	7
FIGURE 5 -	Projet Bourdages: Localisation et séquence des traitements	8
FIGURE 6 -	Localisation des stations d'échantillonnage	13
FIGURE 7 -	Concentration de 2,4-DP et de 2,4-D (logarithme naturel) en fonction du temps dans la mare Ashburton	24
FIGURE 8 -	Station BRS: Concentration en fonction du temps et en relation avec les précipitations	26
FIGURE 9 -	Stations AR, BR: Concentration en fonction du temps et en relation avec les précipitations	27
FIGURE 10 -	Stations 2K, 5K, 15K: Concentration en fonction du temps et en relation avec les précipitations	28
FIGURE 11 -	Courbe de disparition du produit	35
FIGURE 12 -	Comportement des produits en fonction du temps et des précipitations pour toutes les stations	42

1. INTRODUCTION

Le ministère de l'Energie et des Ressources a procédé à l'échantillonnage des résidus d'herbicides phénoxys dans l'environnement. Les herbicides phénoxys sont utilisés pour le dégagement de la régénération de conifères en milieu forestier.

Bien que le comportement des herbicides phénoxys soit assez bien connu au Canada et ailleurs dans le monde, le but ultime de la présente recherche est de connaître le comportement dans nos propres conditions d'opération et dans l'environnement particulier qu'est la forêt québécoise.

Deux (2) aspects principaux ont été examinés: le cheminement des résidus dans le milieu aquatique et la persistance des résidus dans ce même milieu.

Cette étude a également pour but d'aider le ministère de l'Energie et des Ressources dans sa recherche des modes d'interventions les moins perturbateurs pour l'environnement forestier.

2. PROGRAMME DE PULVÉRISATION

2.1 Superficies traitées

Deux (2) blocs de traitements ont été échantillonnés. Ils sont situés à 20 km au sud de la ville de Montmagny dans les cantons Ashburton et Bourdages (figure 1). En voici les caractéristiques:

Projet Ashburton: le projet est constitué de 119 ha de plantation. Il s'agit donc d'entretien de régénération artificielle. La dose prescrite était de 3 000 g d'ingrédients actifs d'un mélange de 2,4-D (acide 2,4-dichlorophénoxyacétique) et de 2,4-DP (acide 2,4-dichlorophénoxypropionique) dans 46,8 litres de bouillie pour chaque hectare. La figure 2 localise le projet Ashburton sur une carte à l'échelle 1:50 000.

La figure 3 permet de localiser les différents blocs traités sur photographie aérienne à l'échelle 1:15 000. La direction des lignes de vol et la séquence des travaux y sont aussi indiquées.

Projet Bourdages: Le projet est constitué de 103 ha de plantation. La dose prescrite était de 4 070 g d'ingrédients actifs dans 46,8 litres de bouillie par hectare. La figure 4 localise le projet Bourdages sur une carte à l'échelle 1:50 000.

La figure 5 localise les différents blocs traités et indique la direction des lignes de vol avec la séquence des travaux.

2.2 Produit utilisé

Le produit utilisé est un mélange de 2,4-D/2,4-DP, 600 grammes par litre, sous forme d'ester isooctylique à faible volatilité.

La bouillie est constituée de 0,25% (en volume) d'un agent épaississant (marque de commerce Nalco Trol), 10% de 2,4-D/2,4-DP et 90% d'eau.

2.3 Période d'arrosage

La période effective de pulvérisation fut du 10 août 1981 au 15 août 1981.

Les périodes quotidiennes, qui respectaient les conditions météorologiques de vents de moins de 8 km par heure et une température inférieure à 24°C, se situaient tôt le matin de 05H30 à 08H00 et le soir de 18H00 à 21H00 environ. Les séquences de traitement sont données aux figures 3 et 5.

2.4 Appareils utilisés

Un avion de type Pawnee avec une charge de 473 litres et un appareil de type Ag-Cat d'une charge de 946 litres ont été utilisés. Le traitement est réalisé avec un système de pulvérisation à rampes produisant des goutelettes d'un diamètre moyen de 500 microns.

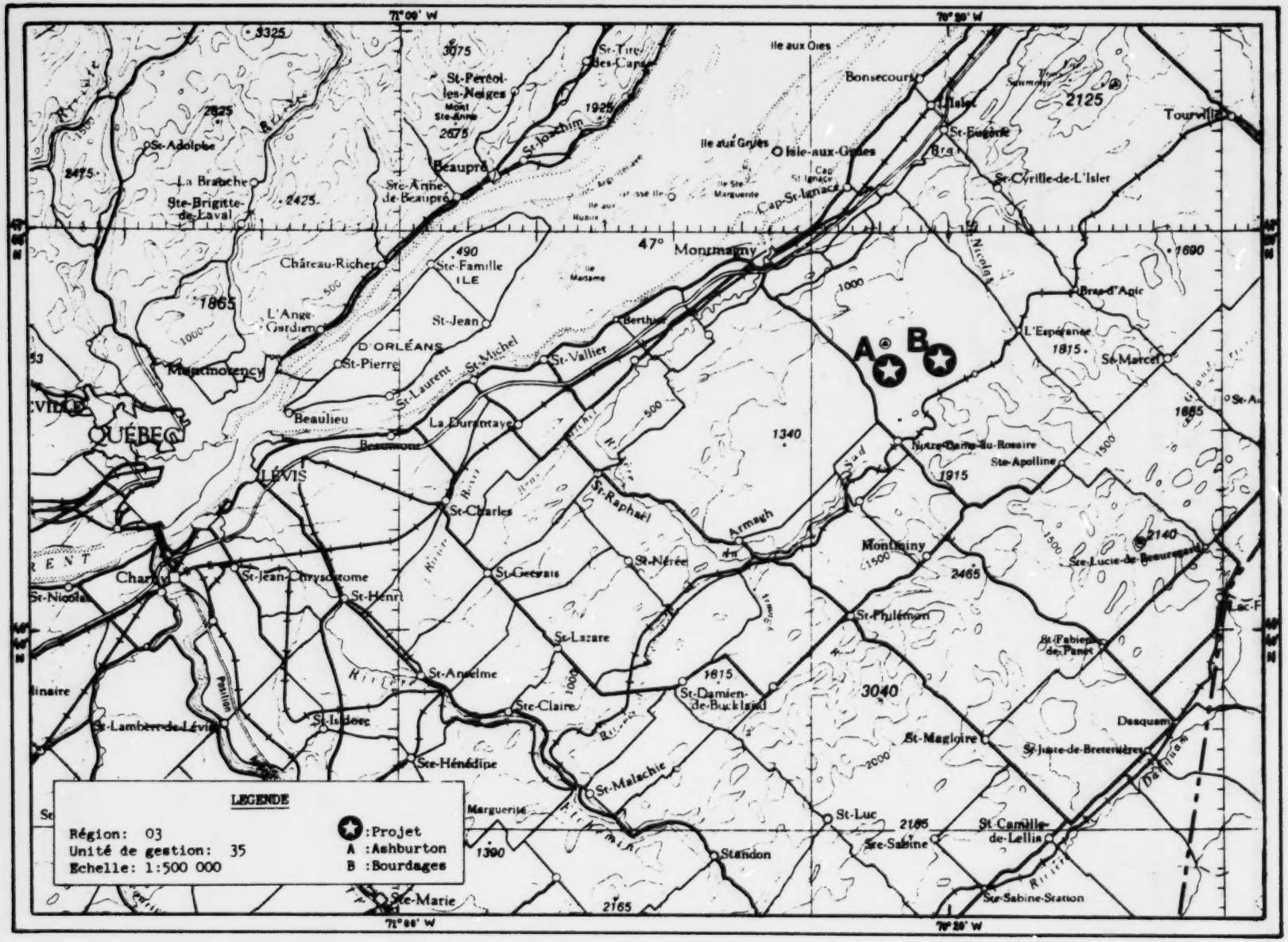


FIGURE 1. Localisation des projets.

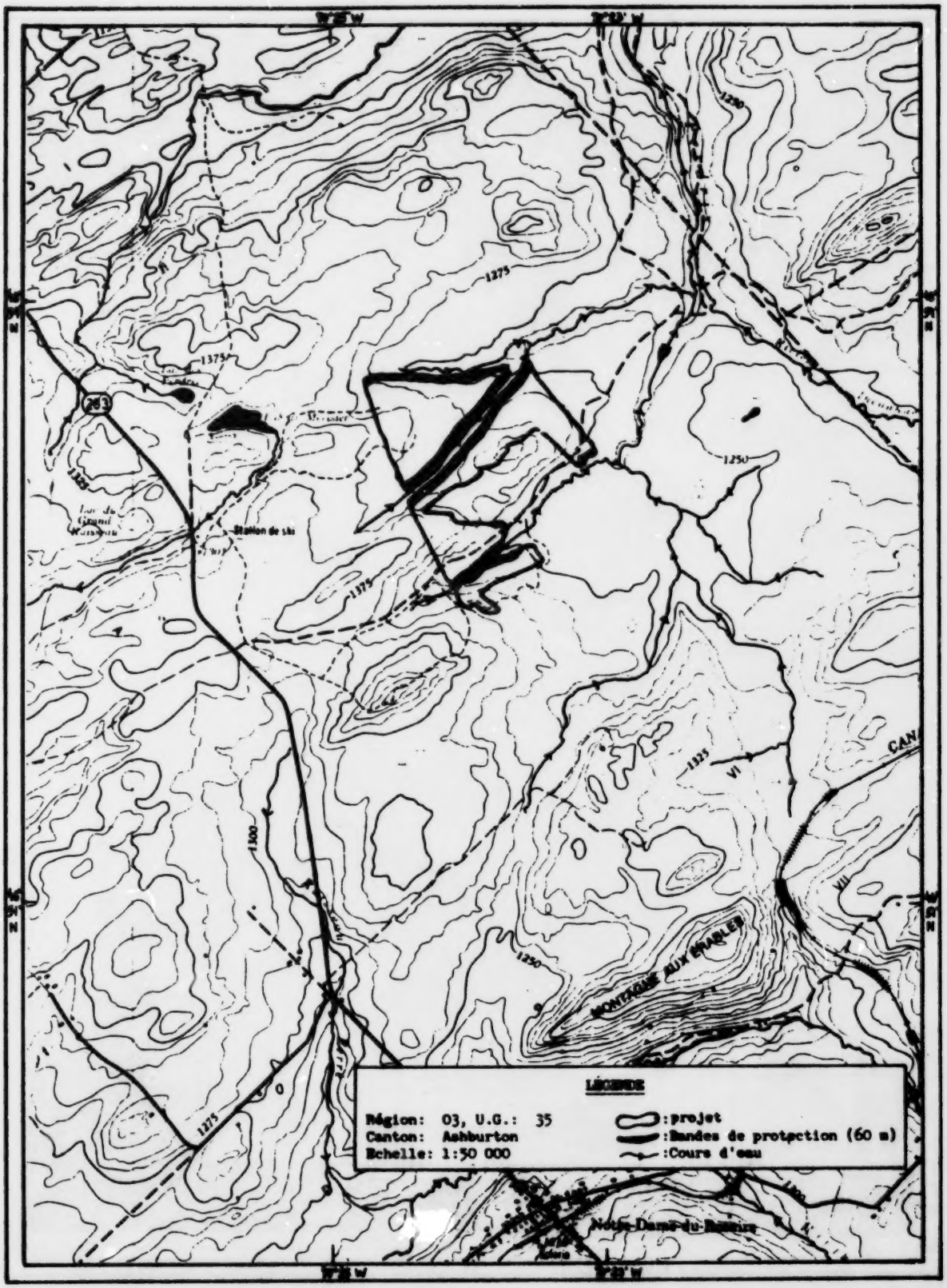


FIGURE 2. Localisation du projet Ashburton.

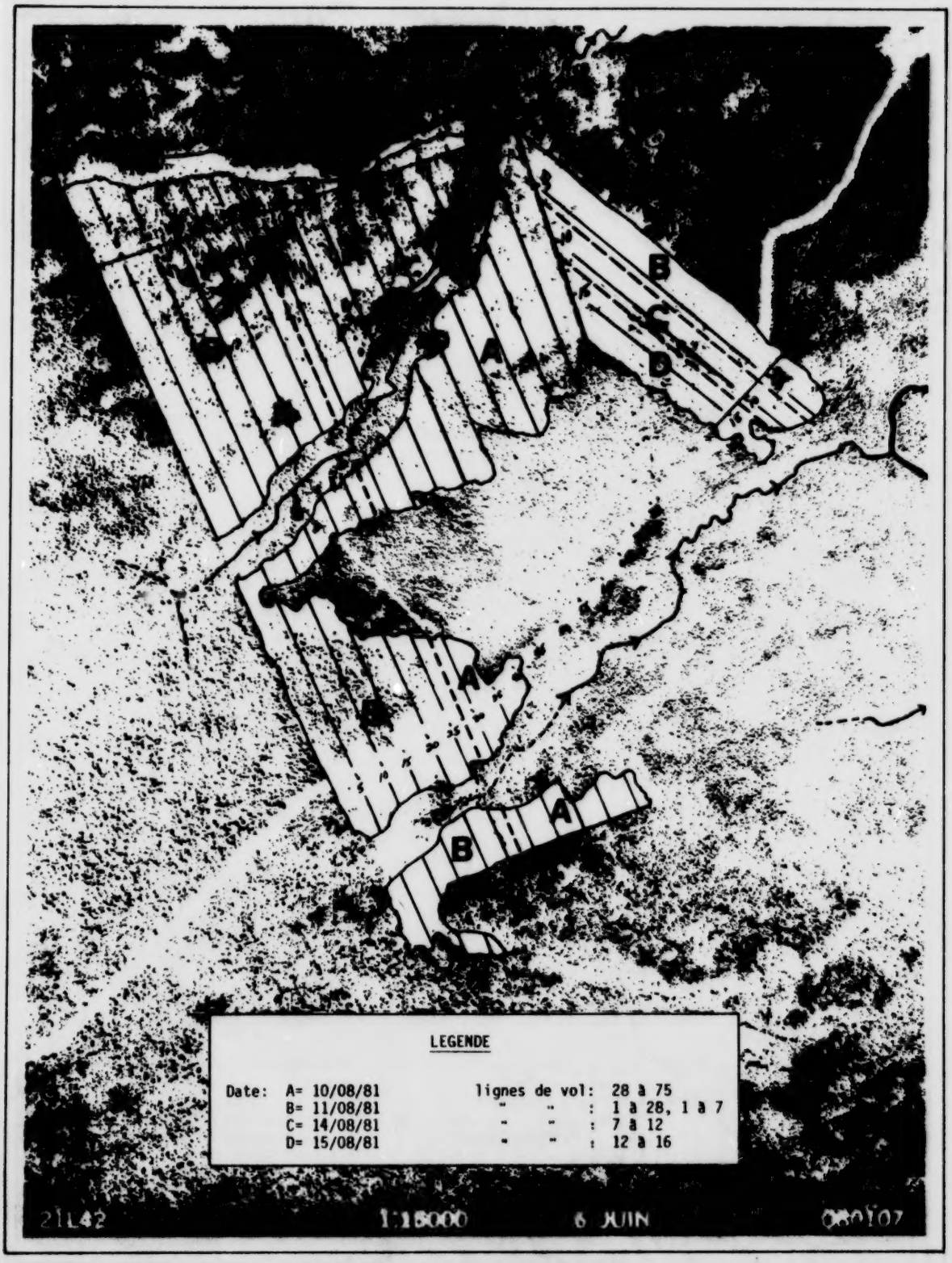


FIGURE 3. PROJET ASHBURTON: Localisation et séquence des traitements.

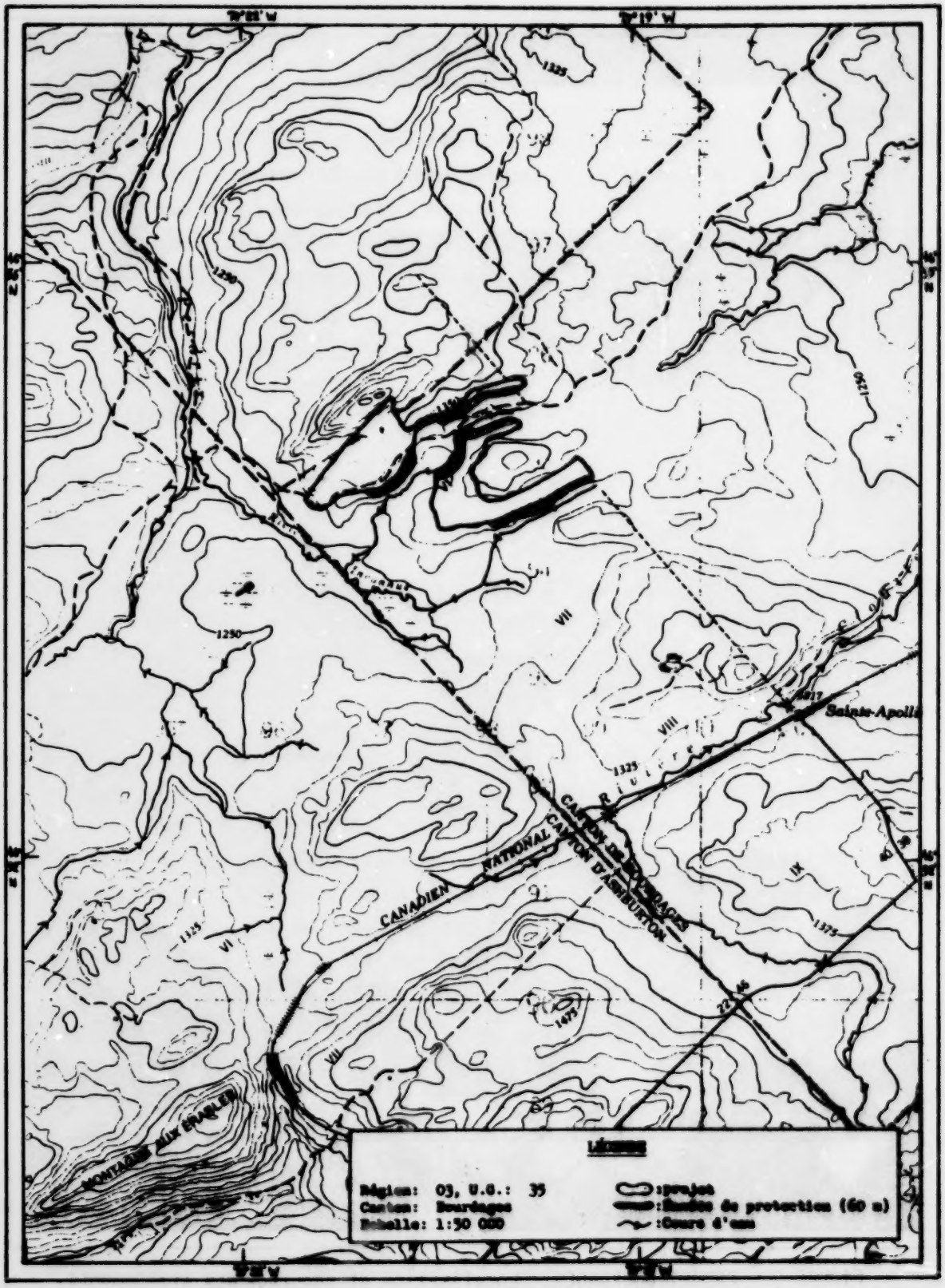


FIGURE 4. Localisation du projet Bourdages.

FIGURE 5. PROJET BOURDAGES: Localisation et séquence des traitements.

3. MÉTHODE EXPÉRIMENTALE

3.1 Mode d'échantillonnage

Le nombre d'échantillons et leur fréquence ont été déterminés par les résultats du contrôle de résidus de 1980 (Laberge, L., 1980). La période d'échantillonnage a été prolongée jusqu'à vingt-huit jours après traitement. Le temps de disparition des résidus dans l'eau pouvant, dans certaines circonstances, atteindre quelques semaines.

Un total de 113 échantillons d'eau fut recueilli dans divers milieux aquatiques. Le tableau I donne leur répartition dans le temps et dans les différents milieux.

L'échantillonnage avait pour but complémentaire de connaître le comportement dans des milieux aquatiques différents. On a donc subdivisé l'échantillonnage de façon à connaître les milieux lentiques et lotiques. Le milieu lentique est représenté par une mare sans écoulement et qui est alimentée par le drainage des eaux de surface seulement. De plus, des échantillons ont été recueillis en surface et en profondeur pour connaître la dispersion du produit dans la mare.

Le milieu lotique, c'est-à-dire le milieu où le renouvellement des eaux est rapide, est représenté par deux (2) ruisseaux qui sont des affluents d'une rivière plus importante, elle-même échantillonnée. De plus dans ce rapport, on fera la distinction entre les ruisseaux qui ont été contaminés directement par la pulvérisation et ceux dont la contamination sera indirecte. Dans le ruisseau directement traité, on a également recueilli des échantillons en surface et en profondeur.

Les séquences d'échantillonnage suivantes ont donc été établies en fonction de chacun des objectifs:

- Comparaison de la distribution des résidus en surface et en profondeur.

Milieu lentique: Mare Ashburton.
Période de 48 heures: 7 échantillons de surface
7 échantillons de profondeur

Milieu lotique: Ruisseau Bourdages (sous arrosage).
Période de 48 heures: 7 échantillons de surface
7 échantillons de profondeur

- Persistance des résidus dans l'eau.

Milieu lentique: Mare Ashburton.
18 échantillons sur une période de 28 jours.

Milieu lotique: Les ruisseaux Ashburton et Bourdages ainsi que la rivière des Perdrix ont été échantillonnés sur une période de 28 jours à des intervalles plus ou moins réguliers après pulvérisation: 81 échantillons.

- Le cheminement des résidus dans l'eau a été déterminé à partir des échantillons précédents puisqu'ils ont été recueillis à des distances variables dans le bassin de drainage du secteur traité soit à 0, 0.65, 1.6, 2, 5 et 15 kilomètres. Pour déterminer le début de la séquence d'échantillonnage de chacune des stations, nous avons tenu compte du temps que les résidus mettraient pour atteindre la station. Le tableau I précise les points précédents.

3.2 Matériel et technique d'échantillonnage

La technique d'échantillonnage, ainsi que le matériel utilisé, ont été déterminés en collaboration avec le laboratoire de Québec du ministère de l'Environnement du Québec.

1°) L'échantillon est étiquetté à l'aide d'un code indiquant sa provenance et le moment de la cueillette.

2°) L'échantillon d'eau est recueilli dans une bouteille Sovirel[MD] d'un (1) litre à goulot de 35 mm. Cette bouteille a été préalablement décontaminée avec de l'alcool, suivi d'un rinçage à l'acétone et finalement d'un dernier rinçage à l'hexane. Cette décontamination a été exécutée par le laboratoire.

TABLEAU I : Séquence d'échantillonnage

	ASHBURTON			BOURDAGES			RIVIERE DES PERDRIX		
	MARE		RUISSEAU	RUISSEAU SUR LE SITE		RUISSEAU	2 KILOMETRES	5 KILOMETRES	15 KILOMETRES
	SURFACE	PROFONDEUR		SURFACE	PROFONDEUR				
Témoin		AM-T p	AR-T		BRS-T p	BR-T	2K-T	5K-T	15K-T
Quantité initiale*	AM 00 00 es	AM 00 00 p		BRS 00 00 es	BRS 00 00 p				
1 hre après traitement						BR 00 01			
4 " " "		AM 00 04 p				BR 00 04			
8 " " "	AM 00 08 es	AM 00 08 p	AR 00 08	BRS 00 08 es	BRS 00 08 p	BR 00 08	2K 00 08		
12 " " "						BR 00 12		5K 00 12	
16 " " "	AM 00 16 es	AM 00 16 p	AR 00 16	BRS 00 16 es	BRS 00 16 p	BR 00 16	2K 00 16		
20 " " "						BR 00 20			
24 " " "	AM 01 00 es	AM 01 00 p	AR 01 00	BRS 01 00 es	BRS 01 00 p	BR 01 00	2K 01 00	5K 01 00	15K 01 00
28 " " "						BR 01 04			
32 " " "	AM 01 08 es	AM 01 08 p	AR 01 08	BRS 01 08 es	BRS 01 08 p	BR 01 08			
36 " " "						BR 01 12			
40 " " "	AM 01 16 es	AM 01 16 p	AR 01 16	BRS 01 16 es	BRS 01 16 p	BR 01 16			
48 " " "	AM 02 00 es	AM 02 00 p	AR 02 00	BRS 02 00 es	BRS 02 00 p	BR 02 00	2K 02 00	5K 02 00	15K 02 00
56 " " "		AM 02 08 p	AR 02 08						
3 jrs après traitement		AM 03 00 p	AR 03 00		BRS 03 00 p	BR 03 00	2K 03 00	5K 03 00	15K 03 00
4 " " "		AM 04 00 p	AR 04 00		BRS 04 00 p	BR 04 00	2K 04 00	5K 04 00	
5 " " "		AM 05 00 p	AR 05 00		BRS 05 00 p	BR 05 00	2K 05 00	5K 05 00	
6 " " "		AM 06 00 p	AR 06 00		BRS 06 00 p	BR 06 00	2K 06 00	5K 06 00	
7 " " "		AM 07 00 p	AR 07 00		BRS 07 00 p	BR 07 00	2K 07 00	5K 07 00	15K 07 00
14 " " "		AM 14 00 p	AR 14 00		BRS 14 00 p	BR 14 00	2K 14 00	5K 14 00	
21 " " "		AM 21 00 p	AR 21 00		BRS 21 00 p	BR 21 00	2K 21 00	5K 21 00	
28 " " "		AM 28 00 p			BRS 28 00 p	BR 28 00	2K 28 00		

Description des codes:

Projet : A : Ashburton
B : Bourdages

Temps : T : Témoin
(00,00): Après traitement (jours, heures)
es : Echantillon de surface
p : Echantillon de profondeur

Sites : M : Mare
R : Ruisseau
2K : 2 kilomètres
5K : 5 kilomètres
15K : 15 kilomètres
RS : Ruisseau sur le site

Note: Les codes mis dans l'ordre suivant forment le numéro de l'échantillon (projet, site, temps, détail).

*: La quantité initiale récoltée 15 min. après traitement est codée (00,00).

- Echantillon en profondeur:

  La bouteille fermée est entrée dans l'eau jusqu'à environ 15 cm de profondeur et est ensuite remplie complètement. Un (1) millilitre d'acide sulfurique concentré est alors ajouté à l'aide d'une pipette pasteur au liquide recueilli.

- Echantillon en surface:

  La bouteille est entrée dans l'eau, le goulot vers le haut, jusqu'à ce que la fine pellicule de surface pénètre dans la bouteille. Cette cueillette ne doit pas être précipitée. Un (1) millilitre d'acide sulfurique concentré est ajouté à l'aide d'une pipette pasteur.

3°) Un papier d'aluminium «décontaminé» est inséré entre le goulot et le bouchon. On visse fermement la bouteille. Notons que le papier d'aluminium «décontaminé» ne doit être manipulé que par les rebords. Un papier déchiré doit être remplacé.

4°) La bouteille est alors entièrement recouverte de papier d'aluminium non décontaminé afin d'intercepter la lumière.

5°) Une deuxième étiquette est placée sur l'extérieur de la bouteille recouverte de papier d'aluminium.

6°) L'échantillon doit être immédiatement placé dans une glacière pour le conserver à 4°C environ et être acheminé dans un délai maximum de 24 heures au laboratoire sauf les fins de semaine où ce délai peut atteindre quarante-huit heures.

3.3 Localisation des stations

La figure 6 indique la localisation des stations par rapport au projet.

- Station AM: La mare est située au centre d'un bloc traité du projet Ashburton.

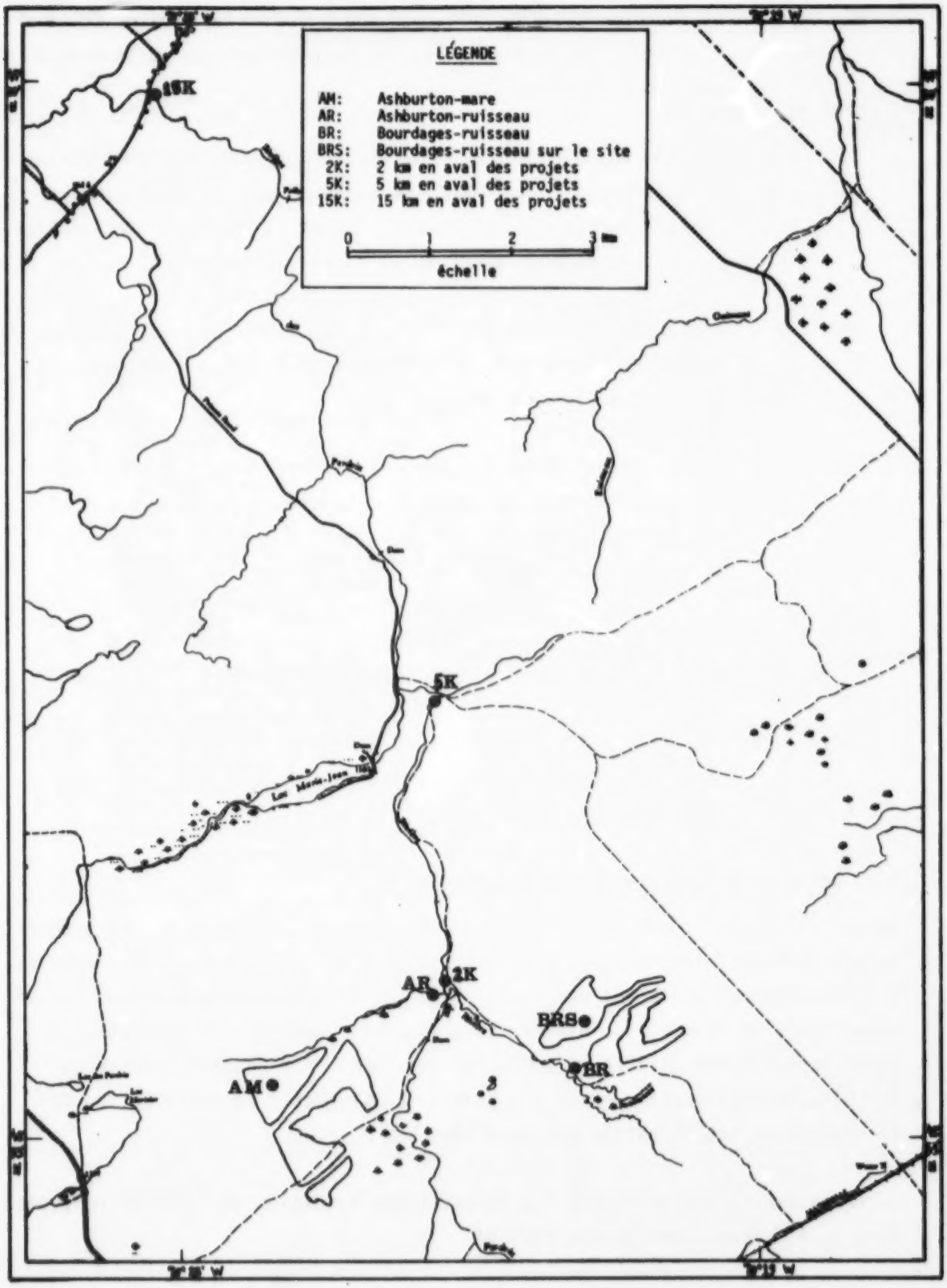


FIGURE 6. LOCALISATION DES STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE

- Station AR: La station Ashburton ruisseau est à 1,6 km du bloc de pulvérisation. Elle draine le bloc le plus au nord et la moitié nord du bloc adjacent.

- Station BRS: Située dans le bloc nord du projet Bourdages sur un ruisseau intermittent. Cependant, ce ruisseau eut un débit continu dû aux fortes précipitations pendant la période de pulvérisation. Ainsi nous avons eu un ruisseau directement traité.

- Station BR: Cette station recueille l'eau de tous les blocs traités dans le projet Bourdages. Elle est située à 0,65 kilomètre en aval des deux (2) grands blocs.

- Station 2K: Cette station de la Rivière des Perdrix recueille l'eau de drainage des deux (2) projets. De plus, elle reçoit des affluents qui n'ont pas été contaminés. Elle est située à 2 kilomètres des projets.

- Station 5K: A 5 kilomètres en aval des projets sur la même rivière, aucun autre affluent ne s'ajoute à ceux mentionnés à la station 2K.

- Station 15K: La station 15K de la Rivière des Perdrix reçoit l'eau des deux (2) projets ainsi que de nombreux affluents qui n'ont pas été contaminés.

3.4 Description des stations d'échantillonnage

Chaque description de station a été divisée en trois (3) parties. La première partie décrit les caractéristiques physiques du site d'une façon générale et est accompagnée d'un schéma explicatif. La seconde partie donne un relevé sommaire de la végétation inventoriée aux abords immédiats de la station. Cette partie a été divisée en trois (3) sections: A = plantes terrestres, B = plantes semi-aquatiques et C = plantes aquatiques. La distribution de la végétation est illustrée par un schéma.

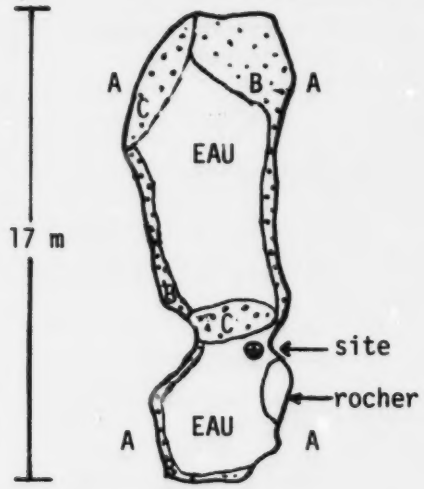
La troisième partie mentionne les observations fauniques qui ont été relevées lors de l'échantillonnage des résidus.

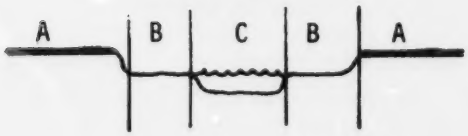
A) ASHBURTON MARE: Mare sans écoulement apparent. Fond boueux avec beaucoup de débris.

1- Données générales

Profondeur: 20 cm
Superficie: 52,55 m²
Volume : 10,68 m³

Schéma de la mare





2- Végétation

A- Terrestre

Ribes glandulosum
Ledum groenlandicum
Cypripedium acaule
Chiogenes hispidula
Populus tremuloides
Coptis groenlandica
Vaccinium myrtilloides
Vaccinium Vitis-Idaea
Cornus canadensis
Salix sp.
Larix laricina
Betula papyrifera
Picea mariana
Prunus pensylvanica
Rubus idaeus
Abies balsamea
Viburnum cassinoides
Viola sp.
Sphagnum fuscum
Sorbus americana
Kalmia angustifolia

B- Semi-aquatique

Scirpus atrovirens
Eriophorum spissum
Carex 3 sp.
Mousses
Sphaignes

C- Aquatique

Scirpus sp.
Carex sp.
Typha latifolia
Sphaignes

3- Faune

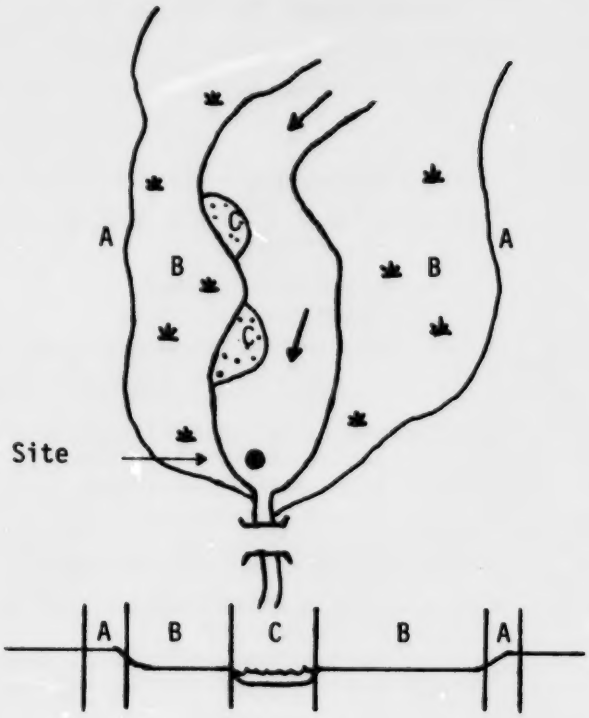
Insectes aquatiques (dytiques)
Amphibiens (têtards)

B) ASHBURTON RUISSEAU: Marécage à carex, sphaignes et graminées, ruisseau entièrement découvert, fond très boueux.

1- Données générales

Vitesse du courant: ,36 km/h
Profondeur : 0,2 m
Largeur : 3 m

Schéma



2- Végération

A- Terrestre (bordure)

Spiraea latifolia

B- Semi-aquatique

Alnus rugosa
Salix sp.
Juncus filiformis
Calamagrostis canadensis
Carex sp.
Galium tinctorium
Scirpus pedicellatus
Glyceria grandis
Hypericum sp.
Shaignes

C- Aquatique

Sparganium sp.
Nuphar sp.

3- Faune

Insectes aquatiques

C) RIVIERE DES PERDRIX: Rivière peu profonde, fond boueux mais certains endroits rocheux.

1- Données générales

Profondeur: 1 m
Largeur : 2K = 15 m
5K = 15 m
15K = 10,5 m

Temps de propagation:

de 2K à 5K: 1 heure
de 5K à 15K: 2,5 heures

Schéma: Voir figure 6.

2- Végétation

Pour la végétation des sites 2K, 5K, 15K, on retrouve en général Larix laricina, Picea rubens, Abies balsamea, Fraxinus nigra, Betula alleghaniensis, Salix sp. et Alnus rugosa. Ce dernier est retrouvé en abondance à l'intérieur des sites 2K, 5K.

3- Faune

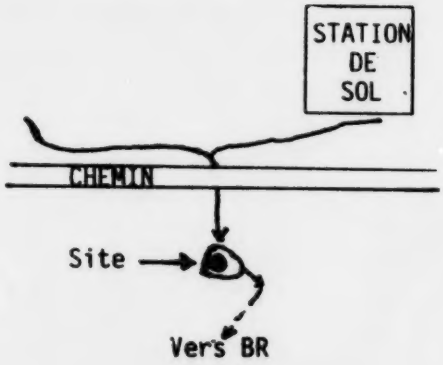
Jaseur des cèdres, carouge à épaulettes, grive à dos olive, chardonneret jaune, troglodyte des forêts, pinson chanteur, pinson à gorge blanche, merle d'Amérique, libellules, truites mouchetées.

D) **BOURDAGES RUISSEAU (sur le site):** Ce site est un petit ruisseau sur gravier grossier et l'échantillon de profondeur était pris dans un petit bassin.

1- Données générales

Vitesse du courant: Indéterminée
Profondeur : ,06 m
Largeur : 0,6 m

Schéma



2- Végétation

A- Terrestre

Rubus pubescens
Aster sp.
Epilobium glandulosum
Potentilla norvegica
Taraxacum officinalis
Circea alpina

B- Semi-aquatique

Carex sp.
Calamagrostis canadensis
Equisetum sp.
Eleocharis obtusa
Agrostis alba
Scirpus pédicellatus
Glyceria sp.

C- Aquatique

Espèce non identifiée.

3- Faune

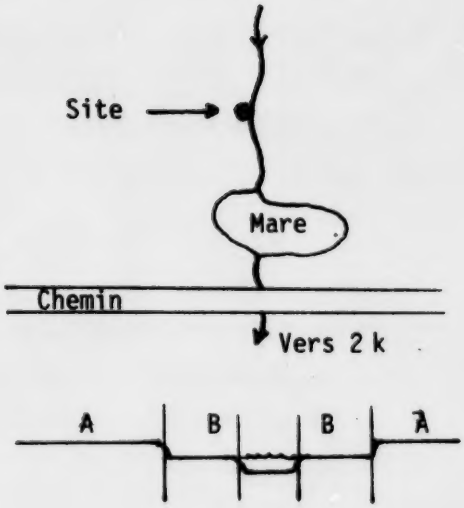
Insectes aquatiques (patineurs, dytiques), crapauds, pinson à gorge blanche, jaseur des cèdres et pinson chanteur.

E) BOURDAGES RUISSEAU: Le ruisseau est recouvert à 90% de feuillage.

1- Données générales

Largeur : 1,53 m
Profondeur : ,127 m
Vitesse du courant: 3,18 km/h

Schéma



2- Végétation

A- Terrestre

Alnus rugosa
Prunus virginiana
Acer spicatum
Trillium sp.
Dryopteris spinulosa
Ribes glandulosum
Lycopodium obscurum
Viburnum cassinoides
Dryopteris phegopteris
Abies balsamea
Aster acuminatus
Circea alpina
Cornus stolonifera

B- Semi-aquatique

Galium sp.
Thalictrum sp.
Onoclea sensibilis
Impatiens capensis
Viola sp.
Tiarella cordifolia
Matteuccia struthiopteris
Mousses
Carex sp.

3- Faune

Truites mouchetées (alevins, adultes), insectes aquatiques (patineurs, libellules), pinson à gorge blanche, grive à dos olive, pistes de chevreuil et d'orignal.

3.5 Méthode analytique et contrôles

Nous présentons ici un résumé de la méthode analytique utilisée par le laboratoire. Cette méthode est celle qui est reconnue et approuvée par la Direction générale des eaux intérieures du Ministère de l'Environnement du Canada. *

L'échantillon d'eau (1 litre) est acidifié puis extrait avec 150 ml de chloroforme par agitation dans une ampoule à décanter. L'extraction est répétée avec 50 ml de chloroforme. L'extrait organique est ensuite asséché sur du sulfate de sodium puis concentré à environ 1 ml.

La méthylation des herbicides est effectuée par l'addition de 2 ml d'une solution de trifluorure de bore dans le méthanol (14% V/V) à chacun des extraits d'eau. Le contenu est chauffé à 60°C pendant 30 minutes. La solution est ensuite extraite par trois fois 2 ml d'hexane, et le volume final est ajusté à 10 ml.

L'identification et le dosage des herbicides sont effectués à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse équipé de deux détecteurs à capture d'électrons de source radioactive ^{63}Ni. Les conditions opératoires du chromatographe sont les suivantes:

- Colonnes: en verre de 180 cm de longueur par 2 mm de diamètre intérieur, renfermant 4% - OV-101 + 6% OV-210 sur Gas Chrom Q pour identification et 3% OV-101 sur le même support pour confirmation.

- Températures: injecteur 250° C
  four 190° C
  détecteurs 300° C

- Gaz vecteur: 5% de méthane dans l'argon (60 ml/min)

* Environment Canada, 1979. Analytical Methods Manual, 1979, Inland Waters Directorate, Water Quality Branch, Ottawa, Canada.

Dans le but de vérifier la précision et la fiabilité de la méthode analytique, nous avons pris six (6) échantillons "contrôles" en milieu naturel.

Nous avons retrouvé des résidus dans trois (3) des six (6) contrôles qui ne devaient pas en contenir. Après vérification, nous constatons que le ruisseau où les contrôles ont été recueillis, a pu être contaminé par la dérive des produits lors des deux (2) premiers jours des travaux. En effet, ces témoins ont été recueillis sur la décharge du Lac Merisier dont la tête du bassin de drainage est à quelques mètres du bloc nord du projet Ashburton. La direction des vents les 10 et 11 août a permis une dérive dans ce bassin de drainage. La contamination lors de l'échantillonnage demeure une explication possible mais peu probable.

A l'avenir, les contrôles de qualité devraient s'effectuer à l'aide d'échantillons dont la concentration est préalablement connue. Ces échantillons devraient être préparés en laboratoire.

4. RESULTATS

Un total de 113 échantillons fut recueilli sur les sites. Le tableau II présente les résultats obtenus dans la mare: 25 échantillons. Le tableau III présente les résultats obtenus dans les ruisseaux: 88 échantillons; de ce nombre 25* étaient négatifs pour la présence des deux (2) produits et six (6) autres échantillons étaient négatifs pour au moins un produit.

Dans le but de retrouver les concentrations maximales, l'échantillonnage fut intensif dans les deux (2) premiers jours. Par la suite, l'échantillonnage fut quotidien jusqu'à sept (7) jours après arrosage et hebdomadaire de la deuxième à la quatrième semaine.

Tous les tableaux donnent les concentrations en microgramme par litre (µg/l). La correspondance anglaise est de 1 ppb (part per billion). La limite de détection pour les deux (2) produits est 0,05 µg/l.

* Témoins inclus.

TABLEAU II

Résidus de 2,4-DP et de 2,4-D en milieu lentique: Mare Ashburton

	TEMPS APRES TRAITEMENT (heures-jours)	2,4-DP		2,4-D	
		µg/l	%	µg/l	%
PROFONDEUR	Témoin	ND	--	ND	--
	Initiale*	1 472	100,0	2 655	100,0
	4 heures	367	25,0	557	21,0
	8 heures	237	16,0	358	13,5
	16 heures	216	14,5	260	10,0
	24 heures	216	14,5	222	8,0
	32 heures	157	10,5	164	6,0
	40 heures	158	10,5	106	4,0
	48 heures	89	6,0	63	2,5
	56 heures	48	3,0	32	1,0
	3 jours	23	1,5	12	0,5
	4 jours	63	4,0	28	1,05
	5 jours	31	2,0	26	1,0
	6 jours	31	2,0	21	0,8
	7 jours	33	2,0	17	0,5
	14 jours	14	0,1	1,9	0,07
	21 jours	59	4,0	4,1	0,15
	28 jours	33	2,0	3	0,1
SURFACE	Initiale*	1 180	100,0	2 137	100,0
	8 heures	394	33,0	690	32,0
	16 heures	365	31,0	448	21,0
	24 heures	269	31,0	353	16,5
	32 heures	234	20,0	209	10,0
	40 heures	164	14,0	115	5,0
	48 heures	88	7,5	63	3,0

* La quantité initiale a été recueillie environ 15 minutes après traitement.

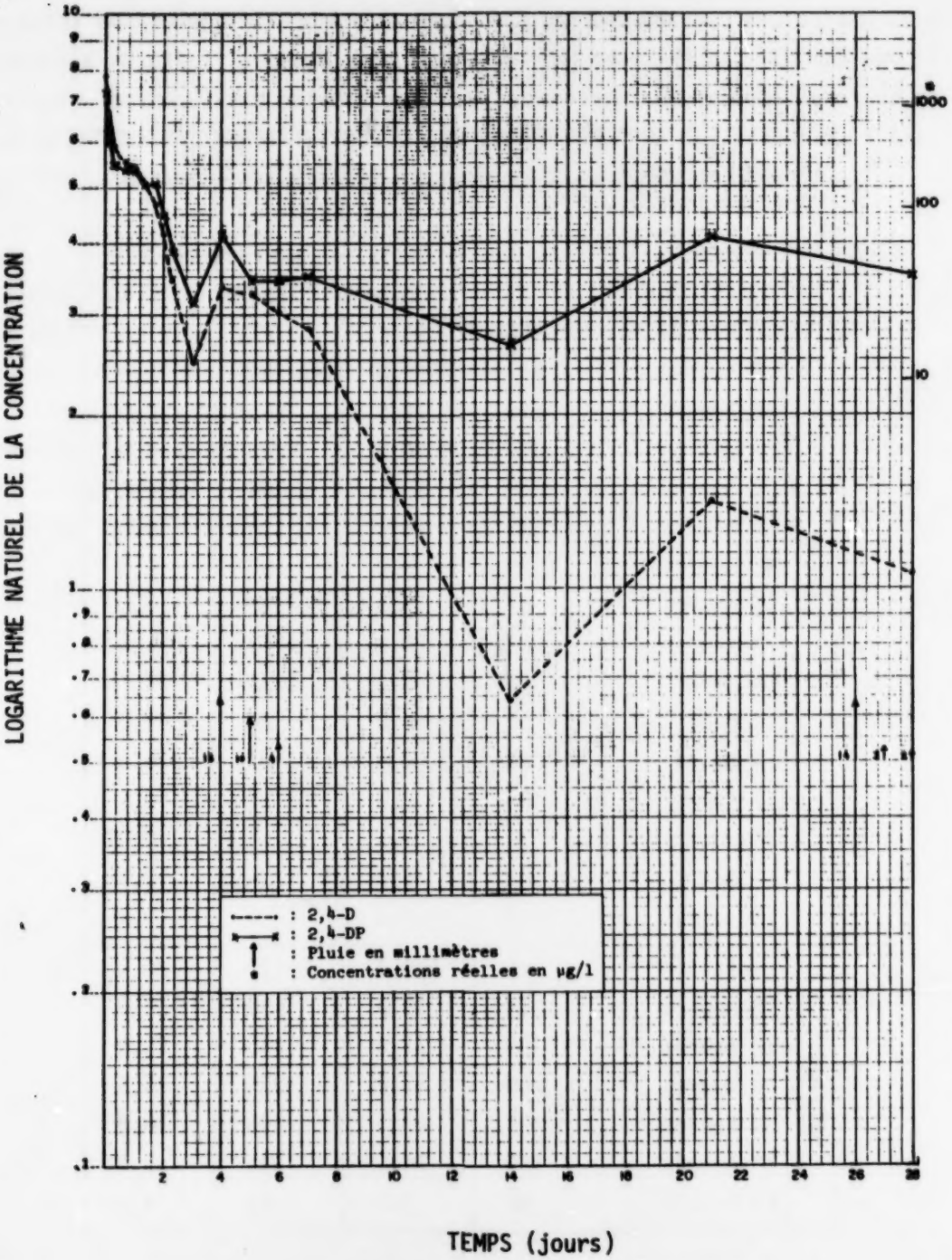


FIGURE 7. CONCENTRATION DE 2,4 - DP et de 2,4 - D (LOGARITHME NATUREL) EN FONCTION DU TEMPS DANS LA MARE, ASHBURTON.

TABLEAU III

Résidus de 2,4-DP et de 2,4-D en milieu lotique (µg/l)

STATION D'ECHANTILLONNAGE		TEMPS EN JOUR ET EN HEURE (00,00 = Jours, heures)																					
		Témoin	00,00	00,04	00,08	00,12	00,16	00,20	01,00	01,04	01,08	01,12	01,16	02,00	02,08	03,00	04,00	05,00	06,00	07,00	14,00	21,00	28,00
BRS Surface	2,4-DP	--[1]	52	--	17	--	1,8	--	5,9	--	10	--	11	10	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	2,4-D	--	98	--	15	--	1,3	--	5,4	--	13	--	13	10	--	--	--	--	--	--	--	--	--
BRS Profondeur	2,4-DP	ND[2]	69	--	18	--	7,1	--	5,1	--	4,0	--	10	10	--	10	21	6,5	2,8	1,1	1,1	1,5	4,7
	2,4-D	ND	126	--	16	--	5,3	--	4,5	--	7,7	--	13	11	--	14	19	6,6	1,8	0,75	0,69	0.94	3,0
AR	2,4-DP	ND	--	--	1,0	--	4,8	--	1,7	--	2,5	--	2,0	1,4	1,1	0,26	0,35	0,45	0,86	1,7	ND	ND	--
	2,4-D	ND	--	--	0.96	--	3,9	--	1,8	--	2,3	--	1,6	1,1	0,93	0,10	0,26	0,26	0,85	1,3	ND	ND	--
BR	2,4-DP	ND	ND[3]	ND	0,74	0,82	0,70	0,31	0,29	0,86	2,9	4,9	4,4	3,7	--	1,7	2,2	0,69	0,35	ND	ND	ND	1,9
	2,4-D	ND	0,14	0,48	1,0	0,88	0,70	0,16	0,30	1,1	4,2	6,6	5,0	4,7	--	2,2	1,5	ND	ND	ND	ND	ND	1,1
2K	2,4-DP	ND	--	--	ND	--	ND	--	ND	--	--	--	--	ND	--	0,08	ND	ND	0,8	0,61	ND	ND	0,29
	2,4-D	ND	--	--	ND	--	ND	--	ND	--	--	--	--	ND	--	0,06	0,19	0,14	1,1	0,62	ND	ND	0,05
5K	2,4-DP	ND	--	--	--	0,38	--	--	ND	--	--	--	--	0,21	--	ND	ND	ND	ND	0,27	ND	ND	--
	2,4-D	ND	--	--	--	0,32	--	--	ND	--	--	--	--	0,08	--	ND	ND	ND	ND	0,08	ND	ND	--
15K	2,4-DP	ND	--	--	--	--	--	--	0,45	--	--	--	--	0,05	--	ND	--	--	--	0,05	--	--	--
	2,4-D	ND	--	--	--	--	--	--	0,38	--	--	--	--	0,06	--	ND	--	--	--	0,05	--	--	--

1°) --: Pas d'échantillon recueilli 2°) ND: Non-détecté 3°) Recueilli 45 minutes après traitement.

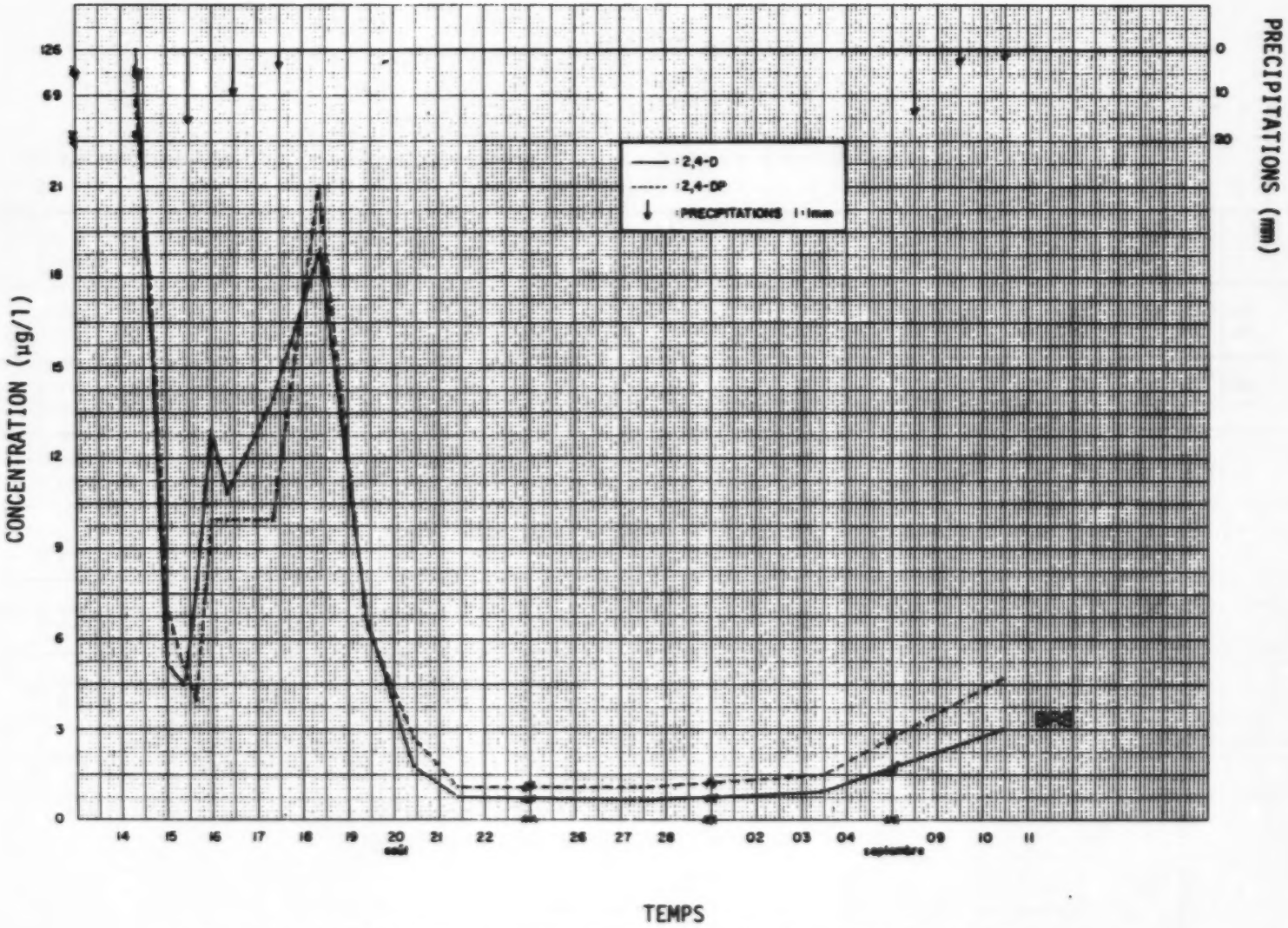


FIGURE 8. STATION BRS: CONCENTRATION EN FONCTION DU TEMPS ET EN RELATION AVEC LES PRÉCIPITATIONS.

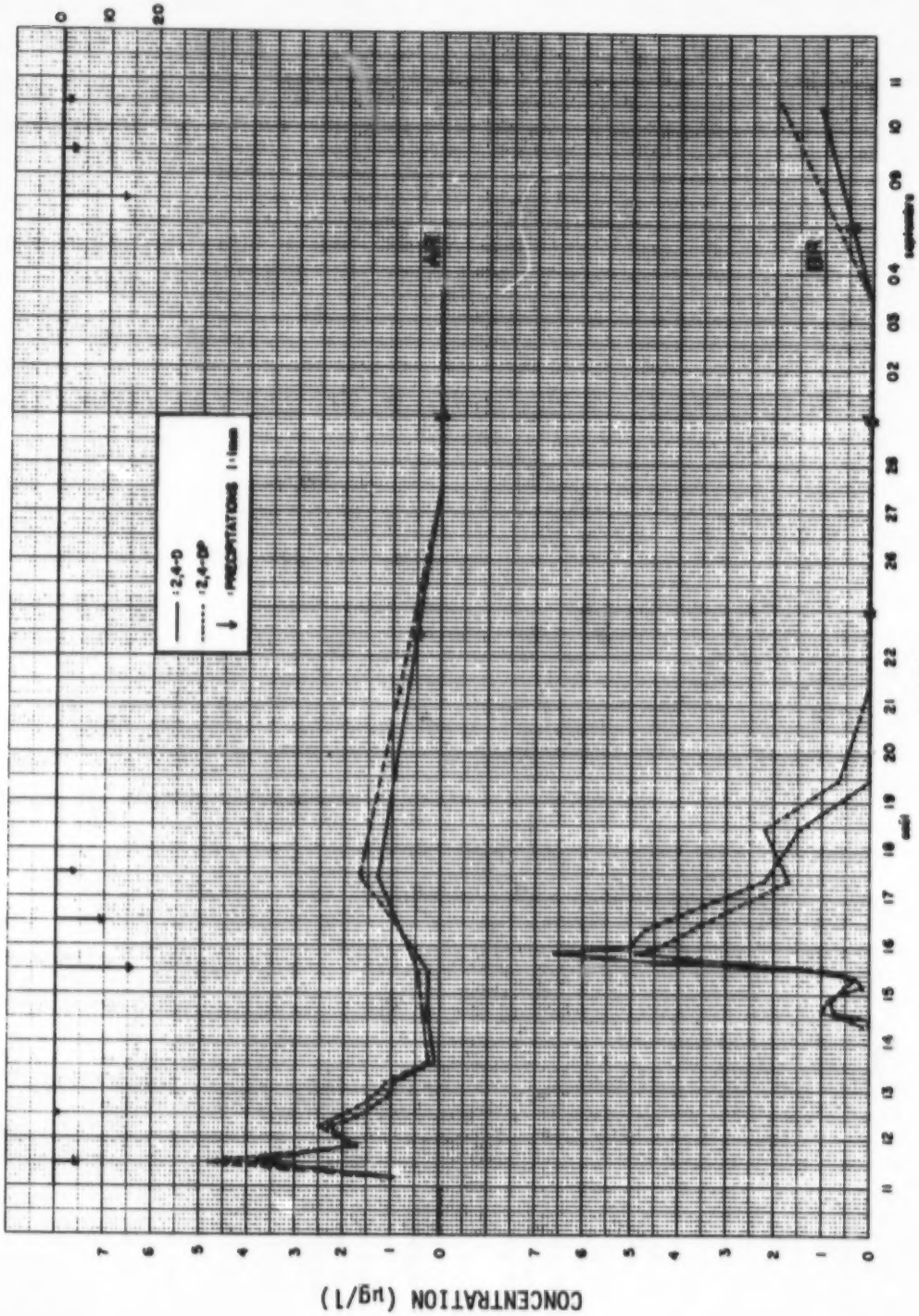


FIGURE 9. STATION AR et BR: CONCENTRATION EN FONCTION DU TEMPS ET EN RELATION AVEC LES PRÉCIPITATIONS.

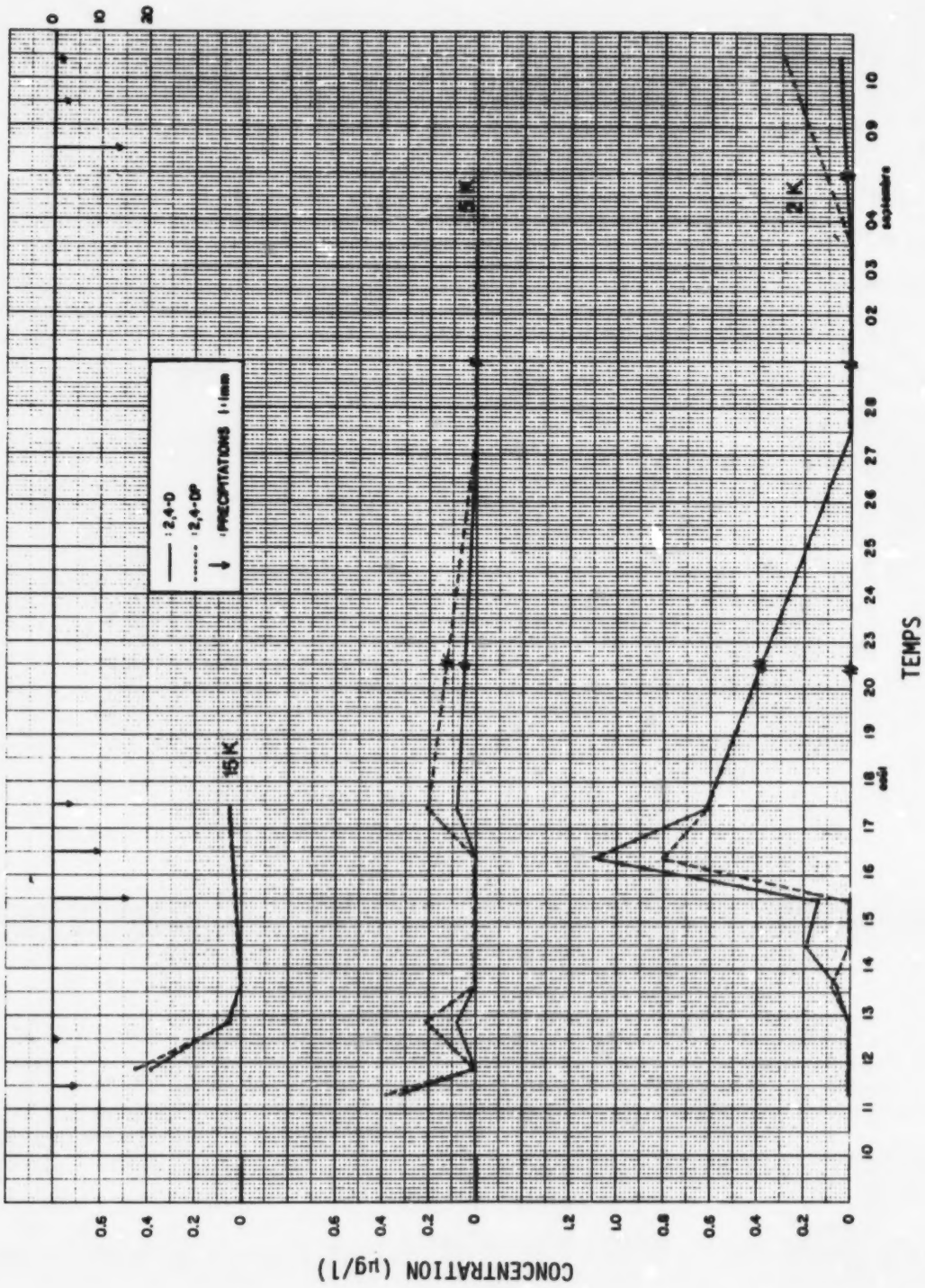


FIGURE 10. STATION 2k, 5k et 15k: CONCENTRATIONS EN FONCTION DU TEMPS ET EN RELATION AVEC LES PRÉCIPITATIONS.

5. DISCUSSION

La discussion porte sur trois (3) aspects principaux pour comprendre le comportement des résidus. La charge de pesticides en relation avec la concentration des résidus, le facteur temps qui contrôle la disparition et finalement la pluie qui transporte les résidus modifiant ainsi leur distribution dans l'environnement.

Tout au long de cette discussion nous emploierons le terme «disparition» qui n'est pas du tout synonyme de dégradation. Lorsqu'on trouve une valeur de concentration pour un échantillon, cette valeur est le résultat des phénomènes de dégradation (décomposition du produit en corps chimiques simples), mais aussi de la dilution du produit dans le milieu ainsi que de l'adsorption (immobilisation et fixation sur la matière organique ou minérale) du produit sans qu'il ne soit dégradé.

Le CNRC (1979) résume ainsi l'ensemble des phénomènes qui se passent en milieu aquatique: «Il se produit une hydrolyse rapide, suivie d'une dégradation métabolique par les microorganismes de l'eau et des sédiments, ou d'une dégradation photochimique. Par conséquent, la vitesse de disparition dans l'eau sera affectée par un complexe de facteurs: le pH de l'eau et des sédiments; la température; la teneur en matière organique; les communautés végétales et animales; la présence de sensibilisateurs des rayons u.v. et d'autres facteurs».

L'explication du taux très rapide de disparition de l'herbicide dans l'eau doit surtout provenir de l'hydrolyse de l'ester et de l'adsorption dans les sédiments. Ces phénomènes physiques se déroulent très rapidement de par leur nature (minutes, heures).

Les phénomènes biologiques comme l'accumulation (par rapport à l'eau) dans les végétaux et le plancton ainsi que la dégradation microbienne sont des phénomènes dont les effets ne sont ressentis qu'après quelques jours.

De très nombreuses études existent pour chacun des aspects mentionnés précédemment. Nous invitons le lecteur à consulter l'étude d'impact sur l'environnement présentée par le M.E.R. (Bélanger, P. et coll. 1982), aux chapitres qui traitent de façon spécifique chacun des sujets.

5.1 Influence de la charge de phytocide

La charge de pesticide qu'un endroit donné reçoit, est égale au taux d'application du produit multiplié par la superficie traitée. Le mode de contamination du site échantillonné, qui peut être direct ou indirect, va modifier la concentration retrouvée et ce pour une même charge.

5.1.1 Charge en milieu lentique

La mare Ashburton située à l'intérieur du bloc traité a les caractéristiques suivantes: surface 52,55 m^2; volume 10,68 m^3; profondeur moyenne 20 cm.

La charge théorique de phytocide serait donc de 15,76 g d'ingrédients actifs à un taux d'application de 3 000 g d'ingrédients actifs à l'hectare. La concentration résultant de cette charge, serait de 0,001475 g/l. On doit la diviser par 2 pour obtenir la concentration de chaque produit du mélange:

	2,4-DP	2,4-D
Concentrations calculées	0,737 mg/l	0,737 mg/l
Concentrations observées:		
Surface	1,472 mg/l	2,655 mg/l
Profondeur	1,180 mg/l	2,137 mg/l

Les concentrations observées furent de l'ordre de deux (2) à quatre (4) fois supérieures à la concentration théorique. Elles peuvent être causées par les difficultés d'estimation exacte du volume d'eau de la mare mais aussi par d'autres facteurs inhérents aux applications aériennes. Ces mêmes différences avaient été observées lors de l'échantillonnage 1980 dans une autre mare.

TABLEAU IV

Charge de phytocide en fonction de la superficie traitée et de la dose appliquée

STATION D'ECHANTILLONNAGE	SUPERFICIE* X DOSE	= CHARGE	DISTANCE DU PROJET KILOMETRES	MODE DE CONTAMINATION
Mare Ashburton	52,55 m² X 3 000 g/ha	15,76 g	0	Directe Indirecte?
Ruisseau Bourdages (sur le site)	40 ha X 4 070 g/ha	163 kilos	0	Directe Indirecte
Ruisseau Ashburton	77 ha X 3 000 g/ha	231 kilos	1,6 km	Indirecte
Ruisseau Bourdages	100 ha X 4 070 g/ha	407 kilos	0,65 km	Indirecte
Rivière des Perdrix	119 ha X 3 000 g/ha 103 ha X 4 070 g/ha	357 kilos 419 kilos 776 kilos	2 km 5 km 15 km	Indirecte

* Superficie drainée par la station.

Le niveau de résidu atteint, de l'ordre de 1 à 2 mg/l, est considéré comme normal pour les pulvérisations forestières aériennes dans les eaux stagnantes. Les résidus diminuent aux environs de 100 µg/l après 48 heures pour les deux (2) produits. Le quatrième jour après traitement, de fortes pluies ont lavé le sol et le niveau des résidus a augmenté à nouveau.

Dans le cas du 2,4-D, de la deuxième à la quatrième semaine, il se maintiendra aux environs de 1 µg/l. La concentration de 2,4-DP demeure cependant plus élevée, aux environs de 30 µg/l.

Bien que nous ne pouvons pas en être certains, il semble que la pluie ait joué un rôle dans les concentrations retrouvées en transportant des résidus du sol environnant. Une mare pourrait donc, comme les ruisseaux, voir sa charge de pesticide augmenter par le ruissellement des eaux de surface. Norris (1967) avait soulevé ce phénomène pour un marécage, à la suite de fortes pluies, qui selon lui, démobilisèrent les résidus dans le sol lorsque la nappe phréatique s'éleva.

5.1.2 Charge en milieu lotique

Nous avons examiné la relation qui pouvait exister entre la concentration résiduelle retrouvée dans un milieu et la charge de pesticide que ce milieu a supportée.

Le tableau IV présente la charge théorique reçue en fonction des paramètres de la surface traitée et de la dose employée.

Sur de petits projets comme le nôtre, nous n'avons pas trouvé de relation entre la charge de pesticide et la quantité de résidus dans le milieu. En effet, prenons le cas des ruisseaux Ashburton et Bourdages. Le ruisseau Bourdages a reçu une charge deux (2) fois plus élevée que le ruisseau Ashburton. Cependant, les concentrations maximums retrouvées dans les deux (2) cas étaient voisines de 5 µg/l après une pluie. En moyenne elles étaient dans les deux (2) cas de 1,5 µg/l.

La station 2K qui reçoit le drainage des deux (2) projets, une charge de 776 kilos, a montré une concentration maximale de 1 µg/l. Dans ces trois (3) cas, nos résidus aux environs de 1 µg/l confirment ce qui est rapporté dans la littérature. Les expériences de Frank et coll. (1978) dans 11 bassins de drainage, montraient que lorsqu'on retrouvait des résidus ceux-ci étaient aux environs de 1 µg/l. Ces résidus étaient associés à des traitements agricoles, mais aussi à des traitements forestiers ainsi qu'au dégagement des abords de route.

De même, le CNRC (1979) confirme qu'en milieux aquatiques les concentrations sont de 1 à 3 mg/l pour les mares et de 1 à 2 µg/l pour les ruisseaux que cela résulte d'applications terrestres agricoles ou forestières.

Il faut répéter ici que ces concentrations sont indépendantes de la superficie traitée, que ce soit une grande région agricole ou une petite plantation de 100 hectares en forêt. De la même façon, Gummer (1979) dans un programme de surveillance des rivières de l'Ouest Canadien a retrouvé, sur 1 386 échantillons, du 2,4-D dans 69% de ceux-ci. La concentration variait de 0,008 µg/l à 4,33 µg/l.

5.1.3 Charge et mode de contamination

Le facteur le plus important pour évaluer et même prédire le niveau de résidus est le mode de contamination.

Notre expérience a révélé que le ruisseau Bourdages, dans sa partie qui a été directement traitée, a montré des concentrations d'environ 100 µg/l à 50 µg/l dans les premières heures. Ces résultats sont également en accord avec ceux de Norris (1979) qui n'excluaient pas des arrosages aériens les sections de ruisseau. Dans ce cas la source de contamination est double, se faisant de façon directe et indirecte par le lessivage et le ruissellement. Ces fortes concentrations ne sont que de courte durée. En effet nous verrons, au chapitre suivant que si l'on considère le facteur temps, ce ruisseau se comportera en moins de 8 heures comme les autres ruisseaux qui ont été indirectement contaminés par le produit.

5.2 Temps de disparition

Pour connaître l'influence du facteur temps sur la concentration, une analyse statistique informatisée a été faite grâce au programme "Sacados" du Service canadien des forêts. Des neuf (9) modèles mathématiques testés, le modèle quatre est celui qui explique le mieux le comportement des résidus.

Le modèle quatre est du type $Y = A_0 + (A_1 \div X)$ où:

Y = concentration
X = temps en heure
A_0 = constante
A_1 = constante

Le tableau V donne pour chaque produit dans les différents milieux les valeurs des constantes et le coefficient de corrélation.

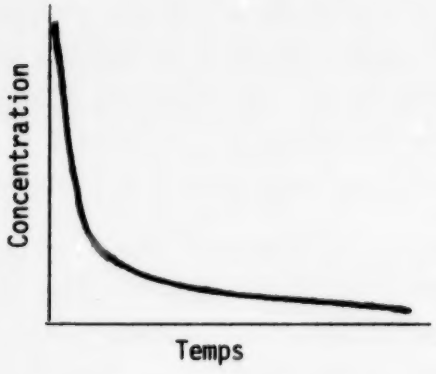
TABLEAU V
Paramètres du modèle mathématique

STATION	A_0	A_1	R^2	Produit
Ashburton mare				
Profondeur	19,599	2 616,72	0,99	2,4-D
Surface	207,93	1 959,40	0,95	2,4-D
Profondeur	57,42	1 413,56	0,98	2,4-DP
Surface	217,38	974,03	0,93	2,4-DP
Bourdages ruisseau (site)				
Profondeur	4,87	120,32	0,96	2,4-D
Surface	4,99	92,44	0,97	2,4-D
Profondeur	6,17	63,06	0,91	2,4-DP
Surface	6,96	45,13	0,93	2,4-DP

Les coefficients R^2 très élevés confirment bien, que pour les deux (2) produits, la régression de «Y» est bien expliquée par notre modèle.

La disparition des résidus a la forme générale illustrée à la figure 11.

FIGURE 11
Courbe de disparition des produits



Cette courbe s'applique dans une mare et dans un ruisseau directement traité même si les concentrations de départ sont très différentes. La disparition est très rapide dans les premières heures qui suivent la pulvérisation. Après 24 heures, les résidus disparaissent beaucoup plus lentement. D'ailleurs, ce modèle présente le désavantage de ne pas tendre rapidement vers zéro, les constantes A_0 étant trop élevées. Une grande densité d'échantillonnage, dans les premiers jours, nous permet de nous assurer d'une bonne représentation de la dégradation dans sa phase la plus rapide.

Cependant, dû au fait que les différentes situations analysées répondent toutes très bien à ce modèle (le R^2 variant de 0,91 à 0,99), nous l'avons retenu pour illustrer nos résultats.

5.2.1 Persistance en milieu lentique

L'influence du temps sur les concentrations est déjà visible à la lecture du tableau II qui donne les concentrations réelles en µg/l et relatives en pourcentage. Rappelons que le déclin des concentrations en fonction du temps répond au modèle $Y = A_0 + (A_1 * X)$ et ce, pour les deux (2) produits autant en surface qu'en profondeur.

Les concentrations ont un déclin très rapide dans les premières heures: après 4 heures, 75% des résidus ont disparu et après 24 heures, 90%. Par la suite, aux environs de 100 µg/l, la disparition devient de plus en plus lente. Lorsque nous avons cessé l'échantillonnage après vingt-huit jours, la mare contenait 3 µg/l de 2,4-D et 33 µg/l de 2,4-DP.

Retenons ici que dans la mare le taux de disparition du produit est très rapide au début, qu'il diminue par la suite et devient faible après un (1) mois, comme si de faibles quantités de résidus pouvaient persister plus longuement. Le C.N.R.C. (1979) rapporte qu'une diminution de la température peut provoquer une diminution de l'hydrolyse de l'ester, de la volatilisation et de la dégradation microbienne. Il reste à déterminer si ces énoncés ont une signification pratique en milieu naturel québécois.

5.2.2 Persistance en milieu lotique

Station BRS: Bourdages ruisseau sur le site.

Tel qu'on peut le voir à la figure 8, station BRS, l'évolution des concentrations en fonction du temps, se compare à celle de la mare. La disparition dans les premières 8 heures est de 80%, après 16 heures il ne reste que 10% et 5% pour les deux (2) produits. Dans un ruisseau, on atteint donc une concentration relative de 5% en 16 heures contrairement à une mare où ce niveau est atteint après 48 heures.

Si un facteur externe, comme une pluie où un deuxième traitement de la superficie drainée, amène une nouvelle charge indirecte dans un ruisseau, cette deuxième charge disparaîtra de la même façon. De plus, les concentrations maximales seront nettement inférieures à celle d'une charge directe. Ce phénomène est illustré par le graphique de la station BRS où le pic de 96 heures atteint un maximum d'environ 20 µg/l soit 20% d'une charge directe et décroît rapidement comme une première charge.

Dans la partie de la courbe de 100 µg/l à 1 µg/l, nous avons déterminé un taux de disparition faible dans la mare et on devrait s'attendre à une disparition lente dans le ruisseau. Cependant, la dynamique (dilution, mouvement, brassage) de l'eau dans un ruisseau vient compenser cet effet.

C'est-à-dire qu'on atteint assez rapidement 1 µg/l mais cette quantité pourra persister longtemps dans certaines circonstances, 28 jours dans notre expérience.

C'est pourquoi le même modèle $Y = A_0 + (A_1 \div X)$ peut servir à expliquer le comportement des résidus même si les concentrations initiales sont très différentes. La plus forte concentration retrouvée dans le ruisseau Bourdages, 126 µg/l de 2,4-D, n'était plus que de 4,5 µg/l après 24 heures.

Notons finalement que tous les échantillons furent positifs et que le produit était encore détecté après 28 jours.

Station Ashburton ruisseau

Le ruisseau Ashburton, qui n'est contaminé que de façon indirecte, montre des maximums de 4,8 µg/l et 3,9 µg/l pour le 2,4-DP et le 2,4-D respectivement. Après deux (2) jours les concentrations se maintiennent sous 1 µg/l. De fortes pluies créent de légers pics de concentration à 1,7 µg/l et 1,3 µg/l sept (7) jours après traitement. Le 14ième et le 21ième jour, les deux (2) produits ne sont plus détectés. La persistance serait d'environ sept (7) jours.

Station Bourdages ruisseau

Après arrosage le 14 août au matin, les concentrations demeurent sous 1 µg/l pour les huit (8) échantillonnages suivants, récoltés à des intervalles de quatre (4) heures. Une deuxième pulvérisation le 15 août au matin, suivie de fortes pluies, provoque des pics de concentration à 4,9 et 6,6 µg/l pour le 2,4-DP et le 2,4-D. Ces pics diminuent lentement et six (6) jours plus tard on ne détecte plus les deux (2) produits pendant les deux (2) semaines suivantes. Les deux (2) produits réapparaissent le 28ième jour à 1,9 et 1,1 µg/l, dû à un apport indirect causé par la pluie tel qu'expliqué à l'item 5.3.

Bien que le modèle mathématique n'a pas été appliqué à ces deux (2) ruisseaux, les valeurs de concentration ne présentent que de faibles variations. Des concentrations faibles, comme dans le ruisseau Ashburton, tendent à disparaître en quelques jours si aucun apport indirect n'est ajouté. Dans ce cas, la persistance fut de six (6) jours.

Station 2K, 5K, 15K

Les concentrations du bassin de drainage des deux (2) projets étaient inférieures à 1,1 µg/l (figure 10). Curieusement, nos échantillons ont décelé la présence des deux (2) produits à 5 et 15 kilomètres mais pas à 2 kilomètres dans les deux (2) premiers jours après traitement. En effet, aux stations de 5 et 15 kilomètres, les produits sont retrouvés lors des premiers échantillons pris respectivement 12 et 24 heures après traitement. Alors qu'à la station 2K, il n'y a aucun résidus pendant les 48 premières heures.

De trois (3) à sept (7) jours après la pulvérisation, on retrouve des produits en faible quantité à la station 2K sans les retrouver à 5 et 15 kilomètres.

On retrouve du produit aux trois (3) stations après les pluies du 15 et 16 août.

En résumé, les concentrations sont très faibles, la plupart du temps près de la limite de détection et elles apparaissent de façon sporadique dans le bassin de drainage.

Pour l'ensemble des stations, les résidus ne sont plus détectés de façon continue après sept (7) jours. Leur présence devient alors sporadique et temporaire.

Nos résultats confirment ceux de Norris (1979) où la disparition complète des résidus prenaient entre un (1) et sept (7) jours dans les ruisseaux. La persistance de résidus varie évidemment d'une expérience à l'autre. Aldhous (1967) a constaté la disparition des résidus après 28 jours et cela dans des fossés de drainage dans une plantation traitée au 2,4-D. Le CNRC (1979) dans sa revue de la littérature donne la disparition du 2,4-D entre 14 jours et 5 semaines dans différentes situations.

5.3 Influence des précipitations

La présence de données météréologiques locales permet d'évaluer l'influence de la pluie sur le comportement des résidus.

En général, on reconnaît que la pluie peut transporter des résidus d'herbicides phénoxys si elle a lieu 24 heures environ après la pulvérisation (Kimmins,J.P. 1975; et CNRC, 1979).

Dans les cinq (5) jours qui ont précédé la période de traitement, il est tombé 120 mm de pluie ce qui est totalement inhabituel pour nos régions. Une telle quantité de pluie pour une région qui n'y est pas adaptée, crée des conditions propices au ruissellement (Kimmins,J.P., 1975).

Les pluies peuvent transporter le produit de deux (2) façons. Le produit, quelques heures après pulvérisation, peut être lessivé du feuillage de la végétation traitée. La deuxième façon de transporter le produit est le ruissellement qui est assez puissant pour transporter des particules de sol ou de matière organique; les phénoxys sont adsorbés fortement à ces particules et sont ainsi transportés.

Trichell et coll. (1968) ont rapporté que la concentration de 2,4,5-T dans l'eau de ruissellement est de 1 à 3 mg/l après une pluie simulée de 13 mm en une (1) heure et cela, 24 heures après la pulvérisation.

5.3.1 Pluie en milieu lentique

Le graphique de la figure 7 illustre le comportement des résidus dans la mare Ashburton. Après une rapide diminution, la quantité de résidus augmente soudainement et se maintiendra à un niveau plus élevé que le minimum atteint après 72 heures. Cette remontée soudaine des concentrations des deux (2) herbicides est due à trois (3) journées de pluie consécutives. Cette pluie de 30 mm eut lieu du 15 au 17 août. Elle suivait deux (2) pluies de 5 et 1 mm tombées les 11 et 12 août. Comme nous l'avons dit précédemment, le sol était alors saturé d'eau. Le 2,4-DP passa alors de 23 à 63 µg/l alors que le 2,4-D monta de 12 à 28 µg/l.

La mare aurait donc reçu du produit par les eaux du ruissellement et la disparition du produit aurait été "bloquée" pendant ces jours de pluie.

Deux (2) autres légers pics de concentration sont notés, 21 et 28 jours après traitement. Celui de 21 jours demeure inexpliqué quoique l'on ait

noté une diminution de 12% du volume de la mare ce qui n'expliquerait qu'en partie l'augmentation de la concentration. Celui de 28 jours, correspond à trois (3) jours consécutifs qui apportèrent 19 mm de pluie. Les concentrations retrouvées furent de 33 µg/l pour le 2,4-DP et 3 µg/l pour le 2,4-D.

5.3.2 Pluie en milieu lotique

L'ensemble de notre bassin de drainage et les deux (2) tributaires que nous avons analysés à l'été 1981, ont subi de fortes crues. Le graphique de la figure 12 donne un aperçu du comportement en fonction du temps. Chacun des pics de concentration, quelle que soit son amplitude, est associé à une pluie et à la crue des ruisseaux. Une station d'échantillonnage, soit 2K, fait exception à la règle, du moins quant au premier pic qui n'est jamais apparu.

BRS: Station Bourdages ruiss sur le site.

Cette station est intéressante car elle possède deux (2) caractéristiques qui maximisent les résidus dans les cours d'eau. D'abord le fait d'avoir reçu directement du produit augmente le niveau de résidus comme nous l'avons vu précédemment. Deuxièmement, une pluie de 30 mm en trois (3) jours a commencé quelques heures après la pulvérisation, délavant ainsi le produit demeuré sur le feuillage et sur le sol.

Il en résulte une remontée des concentrations à 20 µg/l pour les produits. Cette quantité est quatre (4) fois plus élevée que le maximum atteint dans les autres ruisseaux. Cette amplitude des concentrations pourrait être causée par le lessivage du feuillage au-dessus du ruisseau et aussi par l'absence de zone tampon. Bien que cela n'était pas le but de notre expérience, cela peut être considéré comme une preuve indirecte de la nécessité de zones tampons près des ruisseaux. Wilson et Wan (1975) arrivaient à la conclusion qu'une zone tampon de 45,7 mètres était un minimum à respecter, surtout pour les avions comparativement aux hélicoptères.

Un scénario semblable se produisit à la fin de notre échantillonnage. Trois (3) jours de pluie (19 mm) provoquèrent un léger pic de concentration. Alors que les concentrations se maintenaient à près de 1 µg/l

depuis 14 jours elle montèrent à 4,7 µg/l pour le 2,4-DP et 3 µg/l pour le 2,4-D. Rappelons encore une fois qu'une telle concentration est le maximum atteint dans les ruisseaux non directement traités, à la condition que la pluie ait lieu seulement quelques heures après arrosage. Si la pluie n'intervient qu'après quelques jours, les maximums sont plus faibles et ne dépassent pas 1 à 2 µg/l.

La première crue, due à 30 mm de pluie, fut de 6 cm; la deuxième, en absence de données précises est estimée à 3,8 cm. Ce ruisseau est situé en tête du bassin hydrographique avec une pente relativement forte.

AR: Station Ashburton ruisseau

Lorsque l'arrosage fut terminé, les concentrations de 2,4-DP et de 2,4-D furent respectivement de 4,9 µg/l et de 3,9 µg/l. Après avoir diminué en 24 heures sous le seuil de 1 µg/l, elles remontèrent pour un léger pic de 1,7 et 1,3 µg/l le septième jour. Sur la figure 11, ce pic est associé aux pluies du 15, 16 et 17 août qui causèrent une crue de 27 cm dans le ruisseau. Ce pic est faible parce que le facteur temps continue d'agir dans la disparition du produit. Dans les deux (2) semaines suivantes, les produits ne furent plus détectés. Malheureusement, aucun échantillon ne fut pris après les pluies de septembre; les produits auraient peut-être été décelés à ce moment-là.

BR: Station Bourdages ruisseau

Les pluies du 15, 16 et 17 août frappèrent le ruisseau Bourdages 24 heures après son traitement. Les concentrations initiales de moins de 1 µg/l grimpèrent à 4,9 et 6,6 µg/l pour le 2,4-DP et le 2,4-D respectivement.

Une deuxième charge de pesticide fut appliquée quelques heures avant la pluie soit le 15 août au matin. Cette deuxième charge de pesticide conjuguée à la pluie amena une concentration maximale plus grande que la concentration initiale.

Cette pluie provoqua une hausse de 9 cm du niveau de l'eau. Les résidus disparaissent quand même après cinq (5) jours. Le 28ième jour après trai-

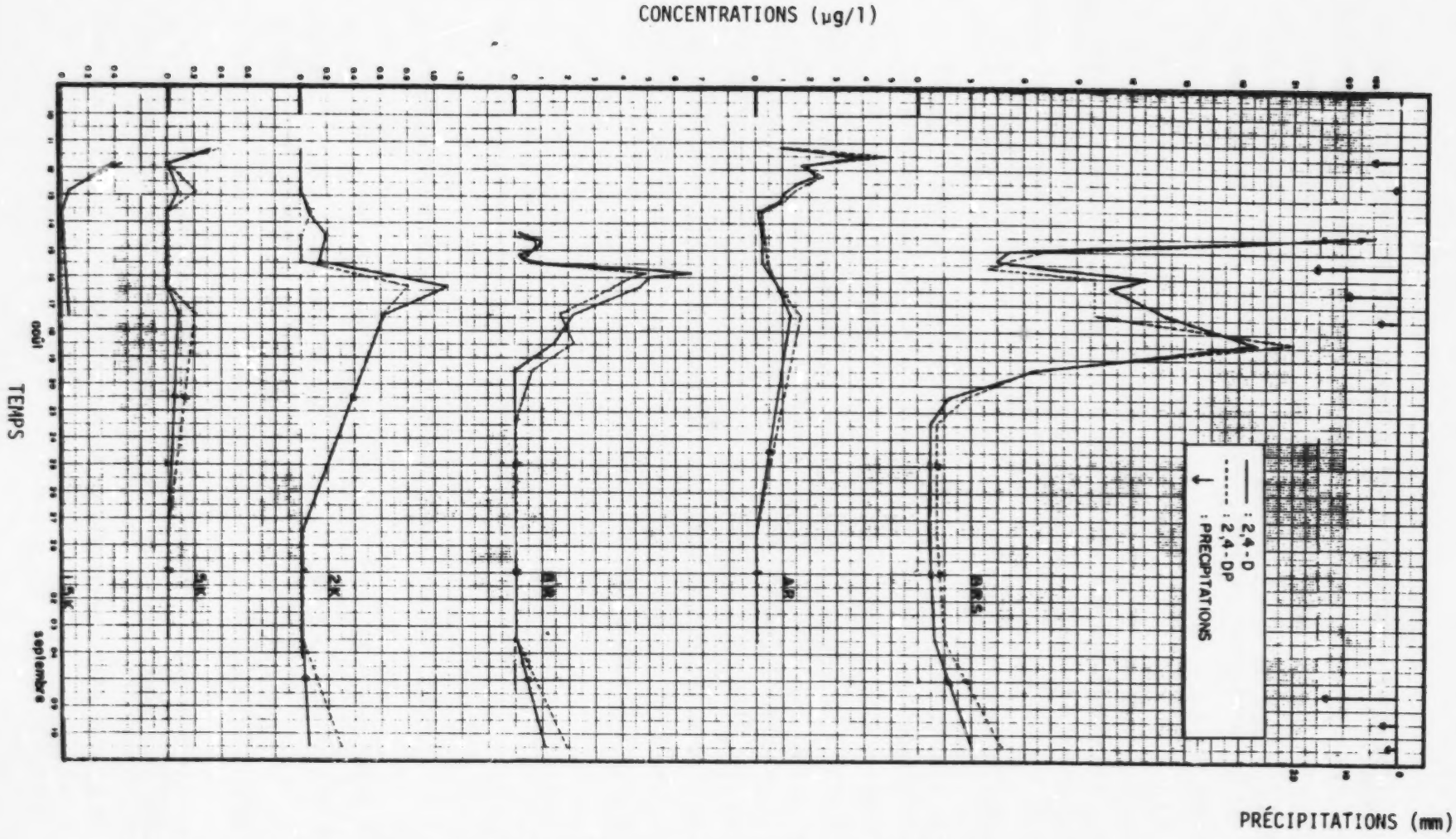


FIGURE 12. COMPORTEMENT DES PRODUITS EN FONCTION DU TEMPS ET DES PRÉCIPITATIONS POUR TOUTES LES STATIONS.

tement, ils sont détectés à nouveau à 1,9 et 1,1 µg/l lors d'une crue de 10 cm. C'est encore pour le 2,4-DP que l'on retrouve la plus forte concentration.

2K, 5K, 15K: Stations de la Rivière des Perdrix

Lorsqu'on examine la figure 11 on doit se rappeler que deux (2) facteurs influencent les résultats: la distance par rapport au projet et le temps.

En effet, il y a une dilution des concentrations causée par les cours d'eau qui n'ont pas été contaminés. De plus, de l'amont à l'aval, le produit peut être adsorbé dans les sédiments et la végétation aquatique. Finalement, les différents processus de dégradation continuent d'agir dans le temps.

Le résultat net de tous ces facteurs est que le produit tend à disparaître de l'amont à l'aval. Les concentrations retrouvées sont très faibles, généralement moins de 1 µg/l, et elles deviennent sporadiques en moins de 24 heures.

Dans tous les cas, la présence temporaire des résidus est associée aux crues de la Rivière des Perdrix.

2K: Rivière des Perdrix à 2 kilomètres des projets

On trouve immédiatement un résultat aberrant: la station ne présentait aucun résidu, alors que la station Ashburton, située un peu plus haut en amont, montrait des résidus d'environ 5 µg/l. Cet échantillon suivait une crue de 20 cm qui aurait due transporter une charge de produit. Ce phénomène peut être causé par un échantillonnage effectué trop près de la rive.

L'absence de ce pic nous empêche d'avoir un tracé parfait du comportement, c'est-à-dire de déceler le produit plus souvent en amont qu'en aval et des concentrations plus élevées en amont qu'en aval.

On retrouve le produit lors de la deuxième crue de la rivière, à 0,8 (2,4-DP) et 1,1 µg/l (2,4-D). Le dernier sommet de septembre, 28 jours après traitement, est intéressant puisque les produits étaient disparus depuis deux (2)

semaines. Leurs concentrations sont cependant très faibles soit 0,29 µg/l et 0,05 µg/l pour le 2,4-DP et 2,4-D respectivement. Rappelons que la limite de détection est de 0,05 µg/l.

5K: Rivière des Perdrix à 5 kilomètres des projets

Le premier sommet de concentration, le 11 août, a été causé par la seule pulvérisation réalisée à ce moment soit celle du 10 août sur le projet Ashburton. La présence des produits à une si grande distance est due aux précipitations inhabituelles de 120 mm. La rivière était alors en crue de 15 cm. Le deuxième sommet du 17 août, est causé lui aussi par une crue et la fin du projet Bourdages le 15 août. Ce pic est associé à ceux des stations AR, BRS, BR et 2K. Le sommet est très relatif puisqu'on ne retrouve que 0,21 µg/l pour le 2,4-DP et 0,08 µg/l pour le 2,4-D alors qu'une semaine auparavant les produits étaient disparus et que par la suite ils n'ont plus été détectés.

15K: Rivière des Perdrix à 15 kilomètres des projets

On constate la présence des deux (2) produits en faible quantité. A première vue, la présence de ceux-ci semble surprenante, mais il faut le répéter cela est sans doute associé à la crue de la rivière.

On retrouve des traces des deux (2) produits à la limite de détection lors de la deuxième crue. Quatre (4) jours auparavant les produits n'avaient pas été décelés.

En résumé, la pluie peut en certaines circonstances influencer le comportement des résidus. L'augmentation des résidus en milieu aquatique semble être en relation avec l'intensité des précipitations et le temps écoulé après le traitement. Une forte pluie, immédiatement après traitement cause une légère augmentation des résidus pour les ruisseaux non directement traités et les mares qui reçoivent les eaux de ruissellement. Un ruisseau directement traité connaît une plus forte augmentation des résidus après une pluie. Sur de grandes distances, plusieurs kilomètres, la pluie peut transporter les produits en aval des zones traitées mais les concentrations sont très faibles.

Donc, une forte pluie qui augmente le volume des cours d'eau ne dilue pas notre concentration mais au contraire la multipliera par un facteur assez élevé. Frank (1977) rapporte qu'une crue soudaine vint balayer le lit presque asséché d'un ruisseau. Les abords de celui-ci avaient été directement arrosés. Les concentrations de 2,4-D et 2,4,5-T passèrent de 0,5 à 4,2 µg/l en six (6) heures. Le volume d'eau du ruisseau augmenta de 186 fois, passant de 0,09 m^3/s à 16,75 m^3/s. L'effet de dilution est complètement dépassé par l'augmentation du transport du produit.

Cette situation, bien qu'exceptionnelle, nous donne quand même un indice pour comprendre le comportement des résidus. De fortes précipitations peuvent mobiliser les résidus de leurs points d'adsorption comme le sol, la végétation et les sédiments des cours d'eau. On a donc le cas où une augmentation des masses d'eau dans les mares, ruisseaux ou rivières, s'accompagne d'une augmentation des résidus.

L'effet attendu de la dilution, soit l'abaissement de la concentration, ne se fera sentir que si l'eau provient de zones non contaminées.

Après quelques semaines la quantité de résidus disponibles pour le lessivage est fortement réduite par la dégradation. Comme nous n'avons pas d'échantillons après quatre (4) semaines, il nous est alors impossible de déterminer l'effet des pluies après cette période.

6. CONCLUSION

Des résidus d'herbicides phénoxys se retrouvent dans le milieu aquatique lors de pulvérisations aériennes en zone forestière. L'intensité de la contamination est beaucoup plus fonction du mode de contamination que de la charge appliquée. Une contamination directe d'une mare produit une concentration de 1 à 2 mg/l (PPM) et celle d'un ruisseau, une concentration de 125 µg/l (PPB). Les ruisseaux protégés par des zones tampons, mais qui drainent les superficies traitées, présentent des concentrations voisines de 1 µg/l. Bien que nous soyons dans une situation géographique beaucoup plus au nord que la plupart des expériences rapportées dans la littérature, il semble que le 2,4-DP et le 2,4-D se dégradent quand même assez rapidement.

Les concentrations initiales diminuent fortement en quelques heures. Après sept (7) jours, les résidus disparaissent des ruisseaux et probablement entre un (1) mois ou deux (2) dans les mares (voir tableau VI).

Les précipitations exceptionnelles peuvent modifier la distribution des résidus dans les milieux aquatiques ainsi que leur persistance.

L'étude d'impact du M.E.R. (Bélanger P., et coll. 1982) avait retenu un seuil de non-effet de 0,1 mg/l pour l'ensemble des organismes aquatiques. Ce seuil de non-effet ne sera dépassé dans la mare que pendant les premières quarante-huit heures et seulement quelques heures après pulvérisation dans un ruisseau directement traité.

Dans toutes les autres situations analysées, les concentrations sont aux environs de 1 µg/l et donc très sécuritaires pour les organismes aquatiques.

TABLEAU VI

Synthèse du comportement et de la persistance des produits en milieu aquatique

	MAXIMUM	0-24 h	24-48 h	>48 h	PERSISTANCE
Mare	1 000-2 000µg/l	500-225 µg/l	200-100 µg/l	100-1 µg/l	28 jours
Ruisseau sans zone tampon	125 µg/l	≅20 µg/l	≅10 µg/l	≤1 µg/l	28 jours
Ruisseau avec zone tampon	5 µg/l	1-4 µg/l	≤1 µg/l	≤1 µg/l	7 jours
Rivière à 2 km en aval du projet	<1 µg/l	<1 µg/l	<1 µg/l	<1 µg/l	28 jours (sporadique après 24 h)
Rivière à plus de 5 km en aval du projet	<1 µg/l	<1 µg/l	<1 µg/l	<1 µg/l	7 jours (sporadique après 24 h)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ALDHOUS, J.R., 1967. "2,4-D residues in water following aerial spraying in a Scottish forest". Weed Research, Vol. 7, No. 3, pp. 239-241.

BÉLANGER, P., LABERGE, L., LAMARRE, R. et P. LÉVEILLÉ, 1982. "Etude d'impact sur l'environnement des pulvérisations aériennes de phytocides en milieu forestier". Gouvernement du Québec, ministère de l'Energie et des Ressources, Service pépinières et reboisement, 486 p.

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA, 1979. "Herbicides phénoxys - Analyse de leurs effets sur l'état de l'environnement accompagnée de critères scientifiques à l'égard de la 2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-p-dioxine (TCDD)". Comité associé sur les critères scientifiques concernant l'état de l'environnement, CNRC No. 16076, Ottawa, Canada, 452 p.

FRANK, R. and G.J. SIRONS, 1980. "Chlorophenoxy and chlorobenzoic acid herbicides; their use in eleven agricultural watersheds and their loss to stream waters in Southern Ontario, Canada 1975-1977". In: The science of the total environment, Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, Vol. 15, No. 2, pp. 149-167.

GUMMER, W.D., 1979. "Pesticide monitoring in the prairies of Western Canada". Environment Canada, Water Quality Branch, water quality interpretative report No. 4, 19 p.

KIMMINS, J.P., 1975. "Review of the ecological effects of herbicide usage in forestry". Fisheries and Environment Canada, Can. Pacific Forest Research Center, information report BC-X-139, 44 p.

LABERGE, L., 1980. "Echantillonnage des résidus de 2,4-D et de 2,4-DP dans l'eau suite à un arrosage aérien dans la province de Québec". Document interne, Gouvernement du Québec, ministère de l'Energie et des Ressources, Service de la restauration, 39 p.

NORRIS, L.A., 1967. "Chemical brush control and herbicide residues in the forest environment". In symposium proceedings: Herbicides an vegetation management, Oregon State University, pp. 103-123.

TRICHELL, D.W., MORTON, H.C. and M.G. MERKLE, 1968. "Loss of herbicides in run-off water". Weed Science, Vol. 16, No. 4, pp. 447-449.

WILSON, D.M. and M.T.K. WAN, 1975. "Effectiveness of stream buffer zones during aerial applications of chlorophenoxy and picloram herbicides". Fisheries and Environment Canada, Pollution Abatement Branch, Environmental Protection Service, Pacific region, report No. EPS-5-PR-75-3, 39 p.